

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA
Faculdade de Ciências e Tecnologia

Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial

Título da Dissertação:

**Fiabilidade e manutenção em veículos de transporte
público**

Por: Fábio Miguel Ribeiro Ferrão

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do
grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Professor José António Mendonça Dias

Lisboa
2009

Agradecimentos

Este trabalho é o resultado de seis anos de estudos universitários, onde o apoio de amigos e familiares foi essencial. Não poderia inicia-lo sem agradecer a essas mesmas pessoas por tornarem possível a minha chegada a este nível de ensino e o acesso a este trabalho.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer aos meus pais por sempre me terem apoiado ao longo deste percurso académico que agora termina.

Quero agradecer à Marta pela motivação extra que sempre me deu.

Aos meus colegas e amigos pela ajuda que me deram ao longo do curso:

- Luís Pinto
- Diogo Aurélio
- Tiago Franco
- Sofia Marques

O meu sincero obrigado aos Serviços Municipalizados de Transportes Colectivos do Barreiro, na pessoa dos Engenheiros Victor Bento, Manuel Marques e José Guimarães, que me forneceram os dados e todo o apoio na realização do trabalho que se segue.

Aos professores do Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial pela contribuição directa na minha formação.

Quero também agradecer ao Professor José Mendonça Dias pela preciosa orientação oferecida, pela dedicação, paciência e demonstração de apoio e amizade em todos os instantes da realização deste trabalho.

Sumário

Nos dias de hoje, e cada vez mais, as empresas têm de se preocupar com a gestão da manutenção que dão aos seus equipamentos, a fim de garantirem a qualidade, quer dos produtos que produzem, quer dos serviços que oferecem.

Com a realização deste trabalho pretende-se estudar os dados históricos de avarias na frota de autocarros *Mercedes Citaro O530*, a fim de propor acções que melhorem o desempenho dos mesmos, quer em termos de performance e custos para a empresa (menores consumos, maior fiabilidade), quer em termos de serviço para os utentes (menor número de avarias quando em utilização).

Irão ser utilizados conceitos estatísticos aplicados ao estudo da fiabilidade de Sistemas Reparáveis (SR), tais como o *Teste de Laplace*, que ajudará no estudo da taxa de falhas dos veículos, ou o *Modelo de Riscos Proporcionais*, que permitirá conhecer o grupo de componentes que mais contribui para o aumento da taxa de falhas.

Numa segunda fase, será proposto um modelo de organização da manutenção, tendo em a melhoria da fiabilidade global da frota.

Palavras chave: Fiabilidade, Manutenção, Taxa de falhas

Summary

Nowadays, companies have to look at the maintenance that is given to their equipments, so that they can guarantee the quality of the products they produce, or the services they offer.

With this work, it is intended to study the failure data in the fleet of Mercedes Citaro O530 buses, having in mind a group of actions that improve their performance in cost and behaviour (less fuel consumption, better reliability), or in service to their users (less number of failures while using).

It will be used statistical concepts applied to the study of the Rapairable System Reliability, such as *Laplace Test*, that will help in the study of the failure rate, or the *Proporcional Hazard Model*, that will allow to know the group of components that contribute to the increase in failure rate.

In a second part, it will be purposed a model in the maintainance organization, having in consideration the fleet's reliability.

Keywords: Reliability, Maintenance, Failure Rate

Lista de Siglas e Símbolos

- ALT – Alternador
- BAT – Baterias
- COMP – Compressor
- CXV – Caixa de Velocidades
- DIR – Direcção
- EIX – Eixos
- HPP – Homogeneous *Poisson* Process (Processo de *Poisson* Homogéneo)
- M/A – Motor de Arranque
- MTBF – Mean Time Between Failures (Tempo médio entre falhas)
- MTR – Motor
- PHM – *Proportional Hazards Model* (Modelo de Riscos Proporcionais)
- S/D – Sistema *Diesel*
- SAR – Sistema de ar
- SARRF – Sistema de arrefecimento
- SEL – Sistema eléctrico

- SMTCB – Serviços Municipalizados de Transportes Colectivos do Barreiro
- SUSP – Suspensão
- TRV – Travões
- λ – Taxa de risco
- PPNH – Processo de *Poisson* não Homogéneo
- PPH – Processo de *Poisson* Homogéneo
- PPR – Processo de *Poisson* Ramificado
- PR – Processo de Renovação
- PRS – Processo de Renovação Sobreposto
- ROCOF – *Rate of occurrence of failures* (taxa de falhas)
- SR – Sistemas reparáveis
- R(t) – Fiabilidade
- F(t) – Função probabilidade de avaria
- β – Vector dos coeficientes de regressão $\beta^T = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p)$

Índice

ÍNDICE	VI
ÍNDICE DE TABELAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.1. OBJECTIVOS	1
1.2. INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 – ENQUADRAMENTO TEÓRICO	3
2.1. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO CONCEITO DE MANUTENÇÃO	3
2.2. IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO	5
2.3. MANUTIBILIDADE E DISPONIBILIDADE	6
2.4. A ESTRATÉGIA DA EMPRESA NA MANUTENÇÃO	8
2.4.1. Alternativas de apoio à manutenção	10
2.4.1.1. Outsourcing	10
2.4.1.2. Compras conjuntas	11
2.5. TIPOS DE MANUTENÇÃO	11
2.5.1. Manutenção Correctiva	12

2.5.2. Manutenção Preventiva	13
2.5.2.1. Manutenção Preventiva Sistemática	13
2.5.2.2. Manutenção Preventiva Condicionada	15
2.5.3. Manutenção correctiva <i>versus</i> preventiva	17
2.6. A FIABILIDADE	18
2.7. FALHAS	21
2.8. A FUNÇÃO DE RISCO	21
2.8.1. Forma típica da taxa de falhas	23
2.9. A FUNÇÃO DE FIABILIDADE	24
2.10. INFORMAÇÃO CENSURADA	26
2.11. PROCESSOS DE POISSON	26
2.11.1. Processos de Poisson não Homogéneos (PPNH)	29
2.11.1.1. Taxa de falhas decrescente	30
2.11.1.2. Taxa de falhas crescente	30
2.11.2. Processos de Poisson Homogéneos (PPH)	31
2.11.2.1. Estimativa de MTBF	32
2.11.3. Processos de Poisson Ramificados (PPR)	33
2.11.4. Teste de <i>Laplace</i>	33
2.12. MODELO DE RISCOS PROPORCIONAIS (PHM)	35
2.12.1. Análise dos resíduos	38
2.13. FIABILIDADE E MANUTENÇÃO NO SÉCULO XXI	39

CAPÍTULO 3 – INTRODUÇÃO AO CASO PRÁTICO	41
3.1. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DOS TRANSPORTES PÚBLICOS	41
3.2. OS SERVIÇOS MUNICIPALIZADOS DE TRANSPORTES COLECTIVOS DO BARREIRO	43
3.2.1. A organização dos S.M.T.C.B.	45
3.2.1.1. A divisão de equipamento	47
3.2.2. A manutenção nos S.M.T.C.B.	48
3.2.3. Frota e veículo escolhido	50
3.2.4. Taxas de imobilização e de operacionalidade	52
CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA	57
4.1. PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DOS DADOS	57
4.2. INTRODUÇÃO DOS DADOS	57
4.3. ORGANIZAÇÃO DOS DADOS	61
4.4. APLICAÇÃO DO TESTE DE <i>LAPLACE</i> A CADA VEÍCULO	63
4.5. APLICAÇÃO DO MODELO DE RISCOS PROPORCIONAIS	65
4.5.1. Resultados do Modelo de Riscos Proporcionais	68
4.5.3. Validação do modelo	72
4.5.4. Comparação de funções de fiabilidade	73
4.6. PROPOSTA DE PLANO DE MANUTENÇÃO	76

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES	79
5.1. RECOMENDAÇÕES	79
5.2. CONCLUSÃO	80
ANEXO I – ROTAS DOS VEÍCULOS	83
ANEXO II – HISTÓRICO DE AVARIAS DE CADA VEÍCULO	84
ANEXO III – DOCUMENTO DE REGISTO DE AVARIAS E VERIFICAÇÕES	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93

Índice de tabelas

TABELA 3. 1 - FROTA ACTUAL DOS SMTCB	51
TABELA 3. 2 - TAXA DE IMOBILIZAÇÃO EM 2006	53
TABELA 3. 3 - TAXA DE OPERACIONALIDADE EM 2006	54
TABELA 3. 4 - EVOLUÇÃO ANUAL DA TAXA DE OPERACIONALIDADE DA FROTA URBANA	55
TABELA 4. 1 - EXEMPLO DE ESTIMATIVA DOS KM'S REALIZADOS DIARIAMENTE ...	60
TABELA 4. 2 - EXEMPLO DE ESTIMATIVA DOS KM'S EM QUE AS AVARIAS OCORRERAM	61
TABELA 4. 3 - EXEMPLO DE CÁLCULO DO TEMPO DE VIDA DOS COMPONENTES	62
TABELA 4. 4 - EXEMPLO DE DEMONSTRAÇÃO DE DADOS CENSURADOS	62
TABELA 4. 5 - RESULTADOS DO TESTE DE LAPLACE PARA CADA VEÍCULO	64

TABELA 4. 6 - EXEMPLO DE ORGANIZAÇÃO DA TABELA PARA O PROGRAMA SPSS 66	
TABELA 4. 7 - VALORES DE $-2\text{LNL}(B)$ COM E SEM COVARIÁVEIS	70
TABELA 4. 8 – RESULTADOS DA ÚLTIMA ITERAÇÃO	71
TABELA 4. 9 - EXEMPLO DE RESULTADOS DO CÁLCULO DOS RESÍDUOS	72
TABELA 4. 10 - MANUTENÇÕES SUGERIDAS PELO FABRICANTE (MERCEDES BENZ SERVICE, 1999).....	77

Índice de figuras

FIGURA 2. 1 - EXEMPLO DE DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADES DE REPARAÇÃO (KECECIOGLU, 2003)	7
FIGURA 2. 2 - FACTORES INTERNOS E EXTERNOS QUE INFLUENCIAM A ESTRATÉGIA DA MANUTENÇÃO (PINTO, 1999)	9
FIGURA 2. 3 - TIPOS DE MANUTENÇÃO	11
FIGURA 2. 4 - CICLO AVARIA-REPARAÇÃO (BRITO, 2003)	12
FIGURA 2. 5 - CICLO DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA SISTEMÁTICA (BRITO, 2003)	14
FIGURA 2. 6 - CICLO DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA CONDICIONADA (BRITO, 2003)	16
FIGURA 2. 7 - NÍVEL ÓPTIMO DE PREVENÇÃO	18
FIGURA 2. 8 - CURVA EM BANHEIRA DE UM DADO PRODUTO	23
FIGURA 2. 9 - EXEMPLO DE FUNÇÃO DE FIABILIDADE (LAMPREIA, 2005)	25
FIGURA 2. 10 - EXEMPLO DE FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE (GONÇALVES, 2005)	25
FIGURA 2. 12 - EXEMPLO DE PROCESSO DE CONTAGEM EM FUNÇÃO DO TEMPO	27
FIGURA 2. 13 - FLUXOGRAMA REFERENTE AOS PROCESSOS DE POISSON (GONÇALVES, 2005)	28
FIGURA 2. 14 - EXEMPLO DE UM PPH (FERRÃO E DIAS, 2009)	32
FIGURA 2. 15 - DISTRIBUIÇÃO NORMAL REDUZIDA (GONÇALVES, 2005)	34

FIGURA 3. 1 - PRIMEIRO AUTOCARRO	42
FIGURA 3. 2 - AUTOCARRO Nº1 DA FROTA DOS SMTCB	43
FIGURA 3. 3 - INSTALAÇÕES DOS SMTCB	44
FIGURA 3. 4 - ORGANIZAÇÃO DOS S.M.T.C.B.	46
FIGURA 3. 5 - ORGANIZAÇÃO DA DIVISÃO DE EQUIPAMENTO	47
FIGURA 3. 6 - OFICINAS DOS SMTCB	48
FIGURA 3. 7 - A MANUTENÇÃO NOS S.M.T.C.B.	49
FIGURA 3. 8 - MERCEDES CITARO DOS SMTCB.....	52
FIGURA 3. 9 - GRÁFICO ILUSTRATIVO DAS TAXAS DE IMOBILIZAÇÃO SEM ACIDENTES	53
FIGURA 3. 10 - TAXA DE OPERACIONALIDADE POR MARCA/MODELO.....	54
FIGURA 3. 11 - EVOLUÇÃO DA TAXA DE OPERACIONALIDADE ANUAL	56
FIGURA 4. 1 - DIVISÃO DO AUTOCARRO POR SUB-SISTEMAS	59
FIGURA 4. 2 - EXEMPLO DE HISTÓRICO DE AVARIAS.....	65
FIGURA 4. 3 - EXEMPLO DE COLOCAÇÃO DOS DADOS NO SPSS.....	67
FIGURA 4. 4 - EXEMPLO DE ESCOLHA DAS OPÇÕES DO MODELO COX REGRESSION	67
FIGURA 4. 5 - RESULTADOS INICIAIS FORNECIDOS PELO SPSS	69
FIGURA 4. 6 - RESULTADO DE $-2LNL(B)$	70
FIGURA 4. 7 - GRÁFICO DOS RESÍDUOS DE COX-SNELL.....	73
FIGURA 4. 8 - GRÁFICO RESULTANTE DA FUNÇÃO DE FIABILIDADE DOS SISTEMAS EM RISCO.....	74
FIGURA 4. 9 - GRÁFICO COMPARATIVO DAS FUNÇÕES DE FIABILIDADE PARA VÁRIAS IDADES	75

CAPÍTULO 1 – Considerações iniciais

1.1. Objectivos

Com a realização deste trabalho pretende-se estudar os dados históricos de avarias na frota de autocarros *Mercedes Citaro O530*, a fim de propor acções que melhorem o desempenho dos mesmos, quer em termos de performance e custos para a empresa (menores consumos, maior fiabilidade), quer em termos de conforto para os utentes (menor número de avarias quando em utilização).

Irão ser utilizados conceitos estatísticos aplicados ao estudo da fiabilidade de Sistemas Reparáveis (SR), com o objectivo de, além de conhecer o comportamento da frota em termos de avarias, propor um plano de manutenção preventiva.

A empresa escolhida trata-se de uma empresa pública, que dispõe de uma larga frota de autocarros, de diferentes anos, marcas e características, mas têm em comum a utilização intensiva nas mais exigentes condições (mau estado das vias em que circulam, ocasionalmente passageiros em maior número que o aconselhado pelo fabricante, etc.).

1.2. Introdução

Nos dias de hoje, e cada vez mais, as empresas têm de se preocupar com a gestão da manutenção que dão aos seus equipamentos, a fim de garantirem a qualidade, quer dos produtos que produzem, quer dos serviços que oferecem.

Com uma concorrência cada vez mais aguerrida, os clientes têm diversas opções para escolher os seus fornecedores, pelo que uma preocupação com a qualidade do que se oferece deve ser sempre tida em conta. Essa qualidade só poderá ser atingida se os equipamentos utilizados estiverem nas melhores condições de funcionamento, de forma a produzir dentro das especificações pretendidas pelos clientes.

Por outro lado, e mais uma vez enfrentando a concorrência, as empresas têm de lutar pelos mais baixos custos de produção possíveis, mantendo a qualidade a que se propõem, de forma a conseguirem introduzir no mercado os seus produtos ou serviços a um preço competitivo. Uma boa prática de gestão da manutenção ajudará a empresa a manter os seus equipamentos com as mais altas performances, conseguindo assim os mais altos índices produtivos.

Neste trabalho resolveu-se aplicar um estudo de gestão da manutenção a uma empresa pública de transportes – Transportes Colectivos do Barreiro, pelo facto de ter uma importante função não só no sector económico, mas também no sector social do nosso país.

Esta empresa dispõe de uma larga frota de autocarros, de modelos e anos diferentes, que têm necessidades de manutenção diferentes. Existem 15 percursos possíveis para os autocarros realizarem, sendo que a exigência desses percursos é diferente, já que nem a lotação média das rotas é semelhante, nem os percursos têm as mesmas condições de circulação, pois há percursos com maior degradação do estado das vias, o que levará a diferentes probabilidades de avaria para cada rota.

Uma manutenção deficiente nestes veículos poderá levar a avarias durante o transporte de passageiros, levando à necessidade da empresa recorrer a serviços de desempanagem e reboque, com evidentes perdas quer ao nível da qualidade do serviço prestado, quer ao nível económico.

Nestas circunstâncias de trabalho tão exigentes, num sistema complexo e dispendioso como é um autocarro, torna-se indispensável uma boa gestão da manutenção da frota de autocarros da empresa, de forma a alcançar valores mínimos de avarias por veículo, minimizando-se assim os custos imputados a este acontecimento, que se poderão traduzir essencialmente em custos de desempanagem, falhas nos horários, perda de clientes, falhas de segurança e acidentes graves.

CAPÍTULO 2 – Enquadramento teórico

2.1. Evolução histórica do conceito de manutenção

Desde os primórdios da história, em que o Homem usava as suas ferramentas primitivas e criava utensílios que lhe facilitavam o trabalho, que foi confrontado com a perspectiva de manter as características desses utensílios por tanto tempo quanto Ele achasse que seria o seu tempo de vida útil. Na natureza das coisas, nada criado pelo Homem é perfeito e indestrutível, mas a sua vida útil pode ser aumentada pela aplicação de acções correctivas, a que se dá o nome de manutenção. Contudo, ao longo dos tempos, a preocupação com o desenvolvimento e operação de sistemas era séria, mas às consequências de uma falha não era atribuída grande importância (Govil, 1983).

Com a implementação da produção em série, as fábricas sentiram necessidade de criar equipas que pudessem realizar reparações em máquinas no menor tempo possível. Assim surgiu um órgão subordinado à operação, cujo objectivo básico era a execução da Manutenção, hoje conhecida como Correctiva.

O conceito de Manutenção Preventiva surge apenas durante a 2ª Guerra Mundial por parte de Engenheiros alemães, que começaram a compreender a necessidade de uma maior atenção à manutenção de produtos mais complexos e dispendiosos, onde compensava, não só corrigir as falhas, mas evitar que elas ocorressem.

Ao mesmo tempo que aparecia o conceito de Manutenção Preventiva, nascia também, associado aos mesmos produtos complexos e dispendiosos, o conceito de fiabilidade. Este conceito é definido pela probabilidade de um produto cumprir as especificações (Bentley, 1993, p. 13). O conceito de manutenção preventiva ficava assim ligado ao conceito de fiabilidade pelo facto da manutenção preventiva ser realizada com o intuito de manter as especificações do produto, ou seja, obter desse produto a fiabilidade máxima.

No fim dos anos 60, surge, por parte de investigadores russos, o conceito de “Ciclo de Manutenção”, definido pelo intervalo compreendido entre duas “Revisões Gerais” que envolvem todos os trabalhos de ajuste e substituição executados durante a paragem do equipamento. Segundo a sua proposta deveriam ser estabelecidas, periodicamente, as inspecções sistemáticas para determinar a evolução das condições operativas e os defeitos e, em função da evolução dessas condições, seria marcado o momento da “Revisão Geral”. Esta proposta ficou conhecida como Manutenção Selectiva e foi a precursora da Manutenção Preventiva por Análise de Sintomas dando início à chamada era da “Manutenção Baseada em Condições”.

No início dos anos 70 os ingleses envolveram o factor económico no processo de gestão da Manutenção, tendo este estudo ficado conhecido por Terotecnologia. O conceito de Terotecnologia é a base da actual “Manutenção Centrada no Negócio” onde os aspectos de custos definem as decisões da área de Manutenção e a sua influência nas decisões estratégicas das empresas.

Em 1971, por parte de engenheiros japoneses, surge o TPM - “*Total Productive Maintenance*”. No TPM procura-se a melhor taxa de utilização dos equipamentos, a avaliação dos custos totais dos equipamentos em função do tempo e da incidência das intervenções no custo dos seus ciclos de vida, a extensão de intervenções a outras áreas (particularmente a produção) e a participação de todas as áreas na busca de melhorias de produtividade.

A partir de 1980, com o desenvolvimento dos micro-computadores a custos reduzidos e possuindo linguagens simples, os responsáveis da manutenção passaram a desenvolver e processar os seus próprios programas, eliminando os inconvenientes da dependência de disponibilidade humana e do computador central, além das dificuldades de comunicação com o analista de sistemas, que nem sempre estava familiarizado com a área de Manutenção.

A partir do final da década de 80, com as exigências do aumento da qualidade dos produtos e serviços pelos consumidores, a Manutenção passou a desempenhar uma importante função estratégica dentro da área de produção através da gestão de informação e análise de resultados, auxiliando assim a gestão no seu processo de tomadas de decisão (Tavares, 2004).

2.2. Importância da manutenção

A importância de algo é sempre determinada pelas razões que a justificam. No caso da manutenção, esta é realizada por três ordens de razões:

- Económicas: Para obter o máximo rendimento dos investimentos feitos, prolongando ao máximo a sua vida útil e mantendo-os em operação o máximo de tempo possível; para reduzir os desperdícios, rejeições e reclamações; para reduzir os consumos em combustíveis e fluidos; para conseguir o melhor aproveitamento dos recursos humanos da empresa.
- Legais: A legislação obriga a prevenir situações que possam constituir factor de insegurança (risco de acidente), de incómodo (ruído, fumos, cheiros), de poluição (emissões gasosas, descargas líquidas, resíduos sólidos) ou de insalubridade (temperatura, humidade). Algumas actividades económicas são abrangidas por legislação especial cuja aplicação é verificada por organismos próprios.
- Sociais: Os grupos sociais afectados pela operação dos equipamentos ou instalações podem exercer pressão para que sejam reduzidos os efeitos nocivos ou incómodos dessa operação (Pinto, 1994).

No caso da manutenção de veículos, o objectivo desta é manter a frota em boas condições de uso, dentro dos limites económicos, de forma a que a sua imobilização seja mínima.

Além de reparar os equipamentos, a manutenção é responsável por evitar e prevenir novas reparações. Contudo, na prática, muitas empresas consideram-na uma actividade dispendiosa que não produz valor acrescentado, remetendo-a para segundo plano.

Mas trabalhar com essa visão traz resultados negativos que são notados, principalmente, com o aumento dos custos da frota. Estes aumentos são resultantes dos problemas originados pela falta de manutenção, ou seja, esta actividade é reduzida com o intuito de reduzir custos, criando

inicialmente a ilusão de que os lucros aumentaram. Mas esse efeito é apenas temporário, pois os custos voltam a subir a partir do momento em que as reparações começam a aparecer.

Se a manutenção for bem feita, além da redução de custos, consegue-se também uma maior confiança dos clientes. Quanto ao tamanho da estrutura dos serviços de manutenção, isso vai depender do número de veículos que compõem a frota e das características da empresa. Em linhas gerais uma empresa deverá ter, em termos de manutenção, as seguintes preocupações:

- Cuidados diários de manutenção e inspecção dos veículos
- Manutenção preventiva periódica dos veículos
- Manutenção correctiva
- Recuperação de conjuntos e reformas de unidades (Valente, Passaglia & Novaes, 1997).

2.3. Manutibilidade e disponibilidade

A manutibilidade poderá ser um indicador importante no estudo de um sistema, na medida em que estuda a probabilidade de realização de acções de manutenção, dentro de um determinado período de tempo.

Após o estudo dos tempos de manutenção, poder-se-á determinar uma função de densidade de probabilidade baseada nesses tempos. Assim, a manutibilidade, ou probabilidade de reparação dentro de um dado espaço de tempo, para um período de tempo t_l , poderá ser calculada por:

$$M(t_1) = P(t \leq t_1) = \int_0^{t_1} g(t) dt \quad (2.1)$$

sendo $g(t)$ a distribuição de probabilidade dos tempos necessários para realizar uma dada acção de manutenção (Kececioglu, 2003). A Figura 2. 1 dá um exemplo de uma distribuição dessas probabilidades.

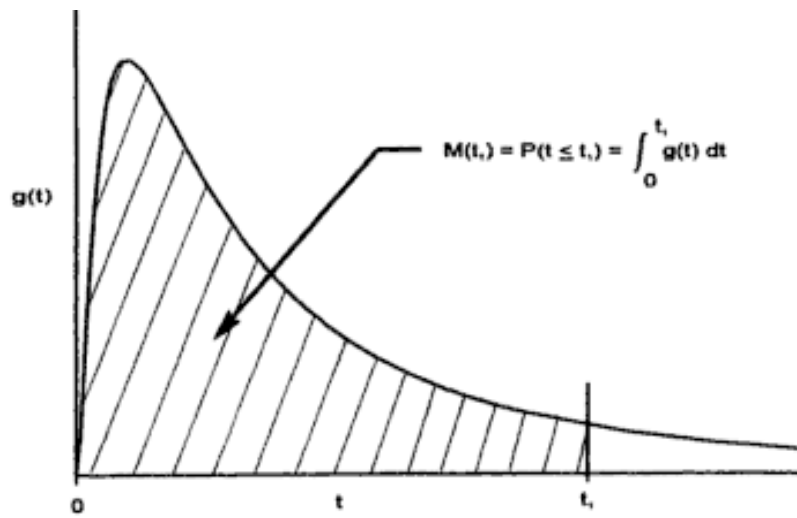


Figura 2. 1 - Exemplo de distribuição de probabilidades de reparação (Kececioglu, 2003)

O estudo da disponibilidade de um equipamento representa um índice que define a probabilidade desse sistema operar satisfatoriamente em qualquer intervalo de tempo que seja solicitado. Este índice relaciona o tempo em que o equipamento está em operação, com a soma dos tempos de operacionalidade e inoperacionalidade, de onde se conclui que as intervenções de manutenção realizadas fora do horário de utilização do equipamento não afectam a disponibilidade do equipamento (Barbosa, 1997). Desta forma, o cálculo da disponibilidade média poderá ser definido por:

$$\bar{A} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (2.2)$$

Sendo MTTF o tempo médio de funcionamento e MTTR o tempo médio de reparação após falha (Dias, 2002).

2.4. A estratégia da empresa na manutenção

A manutenção tem vindo progressivamente a assumir maior importância nas empresas industriais como consequência do seu, cada vez maior, impacto económico nos resultados, e da sua decisiva contribuição para a qualidade dos produtos, cumprimento de prazos de entrega e rendimento dos equipamentos de produção. A manutenção é agora vista como uma actividade decisiva em termos de competitividade dos negócios.

Deve pois ser assumido que a manutenção, como qualquer outra actividade da empresa, terá de conduzir-se por uma estratégia definida, devidamente integrada no Plano Estratégico da Empresa. Assim, a estratégia da função manutenção deve estabelecer a forma de atingir um conjunto de objectivos, resultando da transposição para esta actividade dos objectivos definidos de forma mais geral para toda a empresa.

Essa estratégia é influenciada por factores internos e externos à empresa que são resumidos na Figura 2. 2, e que depois de estabelecida, será desenvolvida através de políticas adequadas (Pinto, 1999).

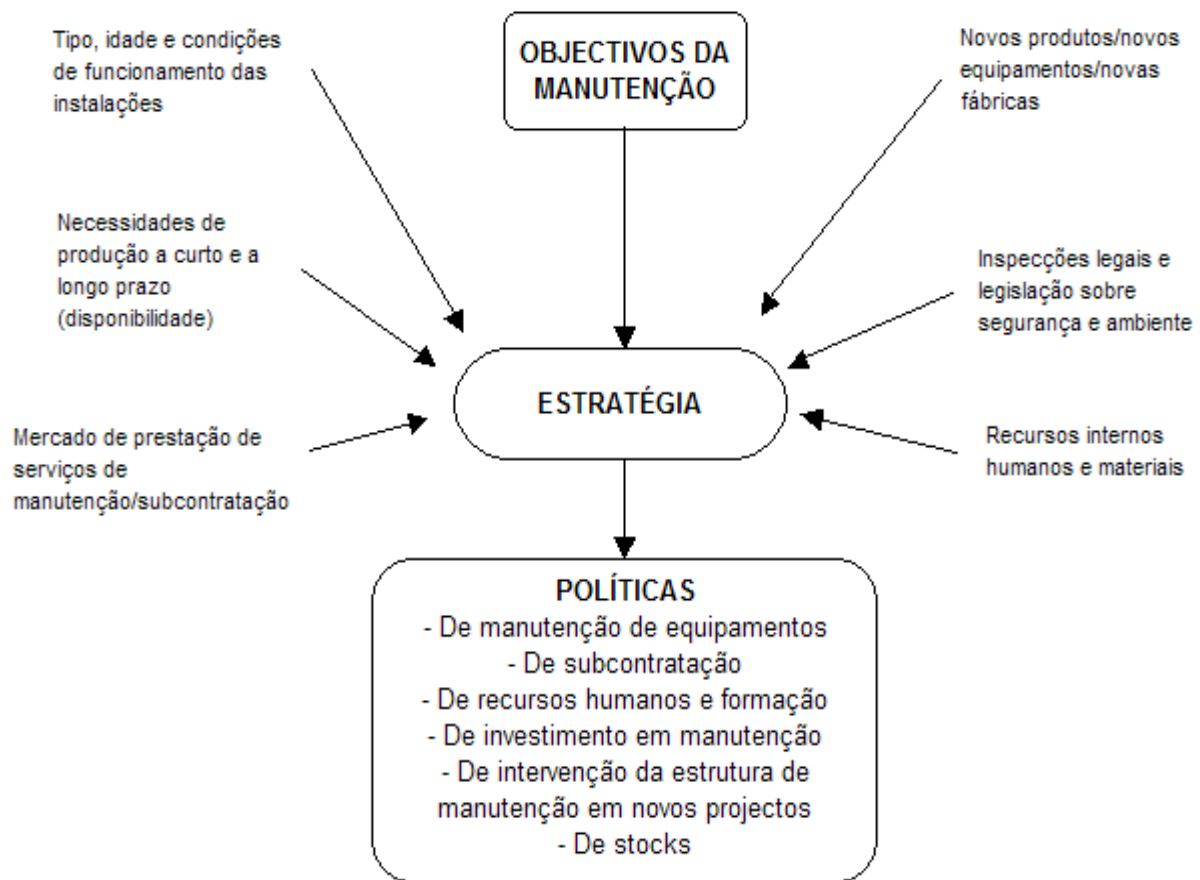


Figura 2. 2 - Factores internos e externos que influenciam a estratégia da Manutenção (Pinto, 1999)

Um bom programa de manutenção de frotas deve ter sempre como objectivo os seguintes pressupostos:

- Conservar os veículos em funcionamento pelo maior tempo possível, evitando desenganagens.
- Através da manutenção preventiva, prevenir avarias durante o serviço, o que evita desperdícios de tempo e problemas que podem exigir reparações dispendiosas.
- Seguir o objectivo principal dos programas de qualidade, ou seja, atender às necessidades dos clientes de forma eficiente, principalmente cumprindo horários, reduzindo ao máximo a perda de clientes.

- Desenvolver boas relações com o público e empregados através do cuidado com a imagem que transparece da empresa. Isto eleva a moral dos motoristas e empregados (Valente, Passaglia & Novaes, 1997).

2.4.1. Alternativas de apoio à manutenção

Neste ponto irão apresentar-se alternativas na estratégia de manutenção, que poderão ajudar a empresa a melhor organizar a sua estrutura, ou mesmo a reduzir custos imputados ao exercício da manutenção.

2.4.1.1. Outsourcing

Esta alternativa poderá constituir uma boa opção, dependendo das características da empresa.

Devido ao facto de muitos custos suportados pelas empresas serem fixos (salários, taxas, desvalorizações, administração, seguros, etc.), optar por recorrer aos serviços de terceiros poder-se-á revelar uma boa opção, pois, com esta solução, a empresa disporá de um serviço de manutenção especializado e bem estruturado, conseguindo assim reduzir uma série de tarefas na sua rotina de trabalho.

Neste tipo de serviço são mantidas revisões periódicas dos equipamentos. As vantagens encontram-se na maior garantia, planeamento e disponibilidade da frota (Valente, Passaglia & Novaes, 1997).

2.4.1.2. Compras conjuntas

Muitas vezes é vantajoso para as empresas a realização de parcerias, e no âmbito das compras estas parcerias poderão conseguir preços mais acessíveis na compra de peças de maior rotatividade. Como as compras são realizadas em grande quantidade, as empresas conseguem uma redução dos custos operacionais, pois obtêm os melhores preços do mercado (Valente, Passaglia & Novaes, 1997).

2.5. Tipos de manutenção

Tal como ilustra a Figura 2. 3, dentro da temática da manutenção, esta poder-se-á dividir em dois tipos distintos: manutenção preventiva e manutenção correctiva.

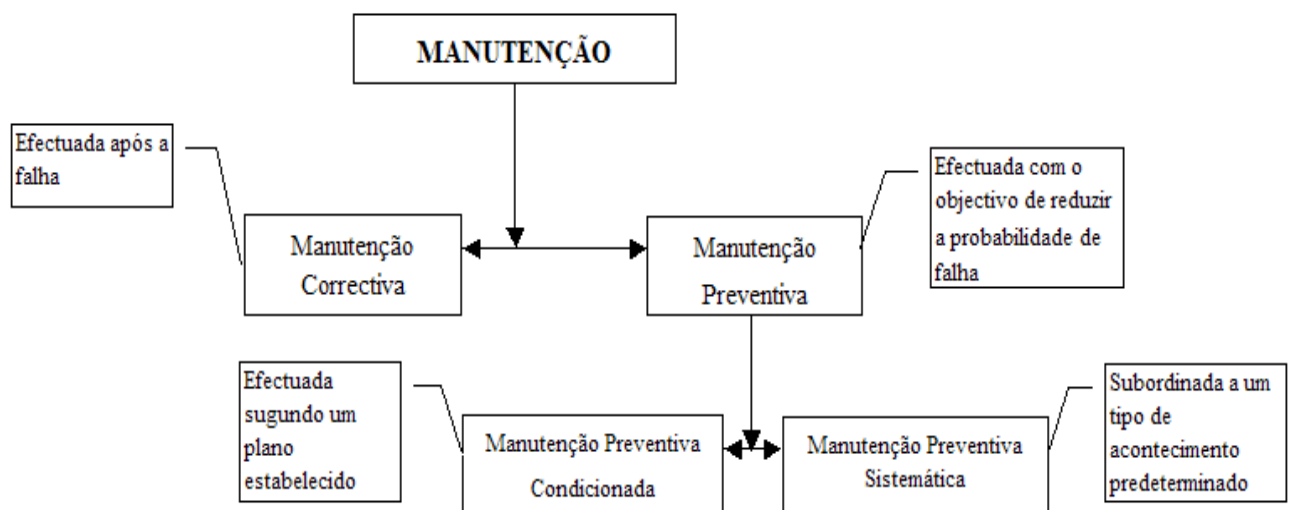


Figura 2. 3 - Tipos de manutenção

2.5.1. Manutenção Correctiva

A manutenção correctiva é a forma mais óbvia e mais primária de manutenção; pode sintetizar-se pelo ciclo "avaria-reparação", ou seja, a reparação dos equipamentos após a avaria. Constitui a forma mais cara de manutenção quando encarada do ponto de vista total do sistema, já que acarreta perda de produtividade e necessidade de *stocks* elevados de peças de substituição.

Deve ser reservada aos equipamentos cuja indisponibilidade tenha pouca importância sobre a produção e cujo custo anual suposto de reparação, bem como as avarias imprevisíveis, sejam aceitáveis.

É claro que se torna impossível eliminar completamente este tipo de manutenção, pois não se pode prever em muitos casos o momento exacto em que se verificará um defeito que obrigará a uma manutenção correctiva de emergência (Brito, 2003).

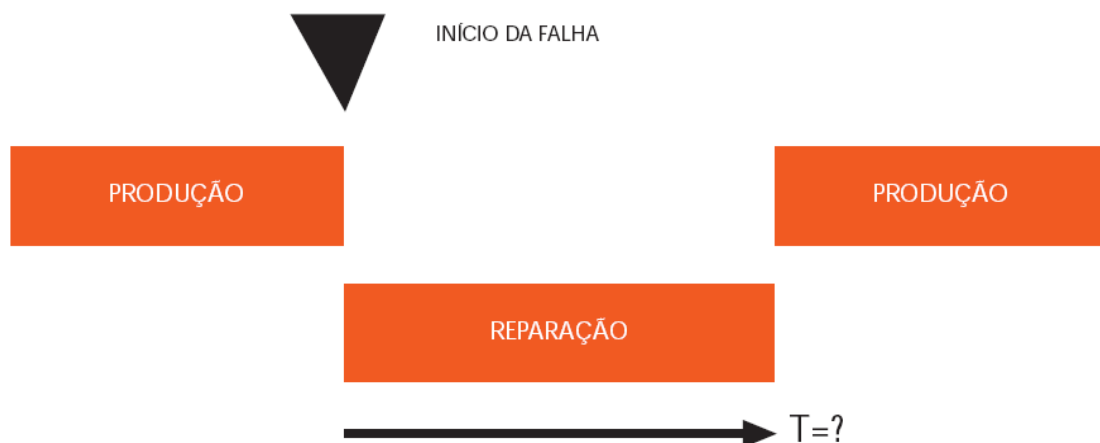


Figura 2. 4 - Ciclo avaria-reparação (Brito, 2003)

2.5.2. Manutenção Preventiva

Considera-se manutenção preventiva a toda a acção de controle, conservação e restauro, com o objectivo de manter o equipamento dentro de parâmetros operacionais e de desempenho especificados. Esta prevenção é feita baseada em estudos estatísticos, estado do equipamento, local de instalação, condições eléctricas que o suprem, dados fornecidos pelo fabricante (condições óptimas de funcionamento, pontos e periodicidade de lubrificação, etc.), entre outros.

As intervenções de manutenção preventiva são definidas para garantir uma determinada disponibilidade, ou seja são definidas acções de substituição de componentes de modo a manter o risco de falha num determinado valor pré-determinado (Brito, 2003).

A aplicação da manutenção preventiva a um equipamento tem por objectivo a fixação de um valor máximo da probabilidade de ocorrência de avarias, ou seja, a fixação de um valor mínimo admissível de fiabilidade.

Quando este valor mínimo de fiabilidade é atingido, efectua-se uma intervenção de manutenção de forma a repor a fiabilidade no seu valor inicial (Pinto, 1999).

A manutenção preventiva pode ser dividida em dois tipos: a manutenção preventiva sistemática e a manutenção preventiva condicionada.

2.5.2.1. Manutenção Preventiva Sistemática

A manutenção preventiva sistemática é executada em intervalos fixos de tempo de vida.

É normalmente utilizada nas operações de lubrificação, nas verificações periódicas obrigatórias e na substituição de componentes com custo reduzido.

Possui como vantagem o facto de programar as operações de paragem da produção, bem como uma mais fácil previsão de custos. Por outro lado a multiplicidade de operações leva ao aumento do risco de novas avarias, bem como à substituição de peças pelo síndrome da precaução. Também a maior frequência de intervenção pode levar a uma maior possibilidade de erro humano (Brito, 2003).

A manutenção preventiva com intervenções de periodicidade fixa poderá ser aplicada de duas formas:

- Visitas ou inspecções sistemáticas constituídas por verificações periódicas a pontos críticos do sistema, originando intervenções quando a inspecção o revele necessário.
- Revisões gerais constituídas por trabalhos de manutenção programados efectuados periodicamente com paragem total do sistema (no caso de uma fábrica será a paragem total da fábrica) (Pinto, 1999).

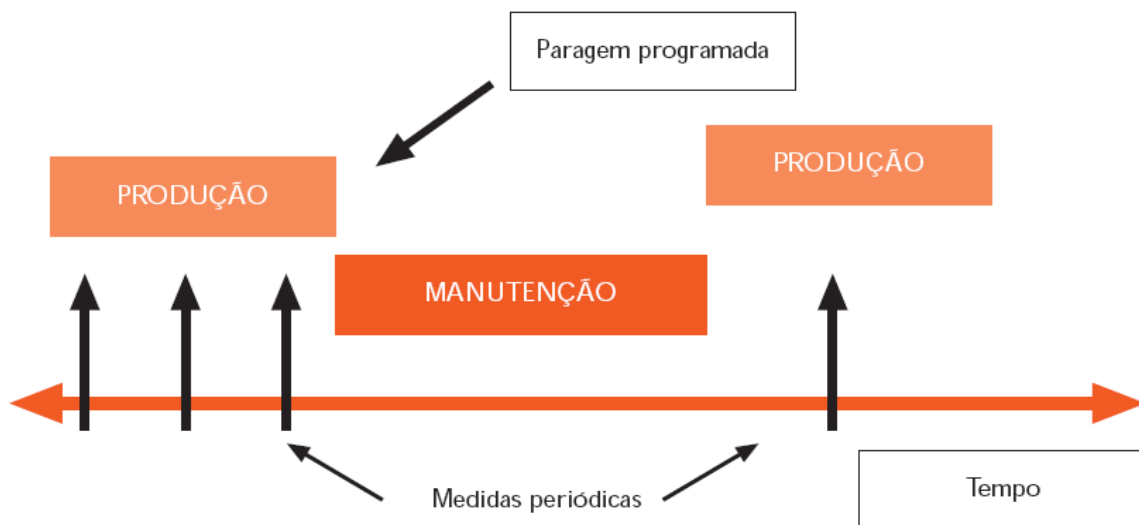


Figura 2. 5 - Ciclo da manutenção preventiva sistemática (Brito, 2003)

2.5.2.2. Manutenção Preventiva Condicionada

A manutenção preventiva condicionada tem como objectivo prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento durante o maior intervalo de tempo possível.

É uma manutenção preventiva, subordinada a um tipo de acontecimento predeterminado (auto-diagnóstico), à informação de um sensor, a uma medida de um desgaste, ou outro indicador que possa revelar o estado de degradação do equipamento.

É geralmente aplicada a máquinas vitais para a produção, a equipamentos cuja avaria compromete a segurança e a equipamentos críticos, com avarias caras e frequentes, já que com este tipo de manutenção existe um controlo mais eficaz de peças de reserva, bem como um menor custo de reparação (Brito, 2003).

A manutenção preventiva condicionada pode ser aplicada com controlo de variáveis periodicamente ou em contínuo.

A aplicação do controlo em contínuo é especialmente recomendada para máquinas de grande porte, sendo os parâmetros controlados registados em permanência, o que permite um controlo dos dados de funcionamento e sua comparação com os valores máximos admissíveis definidos pelo fabricante em contínuo. Uma boa alternativa para este tipo de manutenção passa pela instalação de um sistema de sinalização óptica e/ou acústica dos níveis de alarme.

A manutenção condicionada efectuada através de medidas periódicas de parâmetros de funcionamento consiste em inspecções sistemáticas feitas com instrumentos de medida e controlo, seguindo-se à colheita de dados, uma análise dos resultados obtidos e sua respectiva comparação com os valores admissíveis estabelecidos pelo fabricante ou pelas normas aplicáveis (Pinto, 1999).

Existem diversas técnicas de controlo da condição das máquinas e equipamentos, com aplicação na manutenção. Destacam-se as seguintes:

- Análise de vibrações
- Termografia
- Análise dos parâmetros de rendimento
- Inspecção visual
- Medições ultra sónicas
- Análise de lubrificantes em serviço (Cabral, 1998)

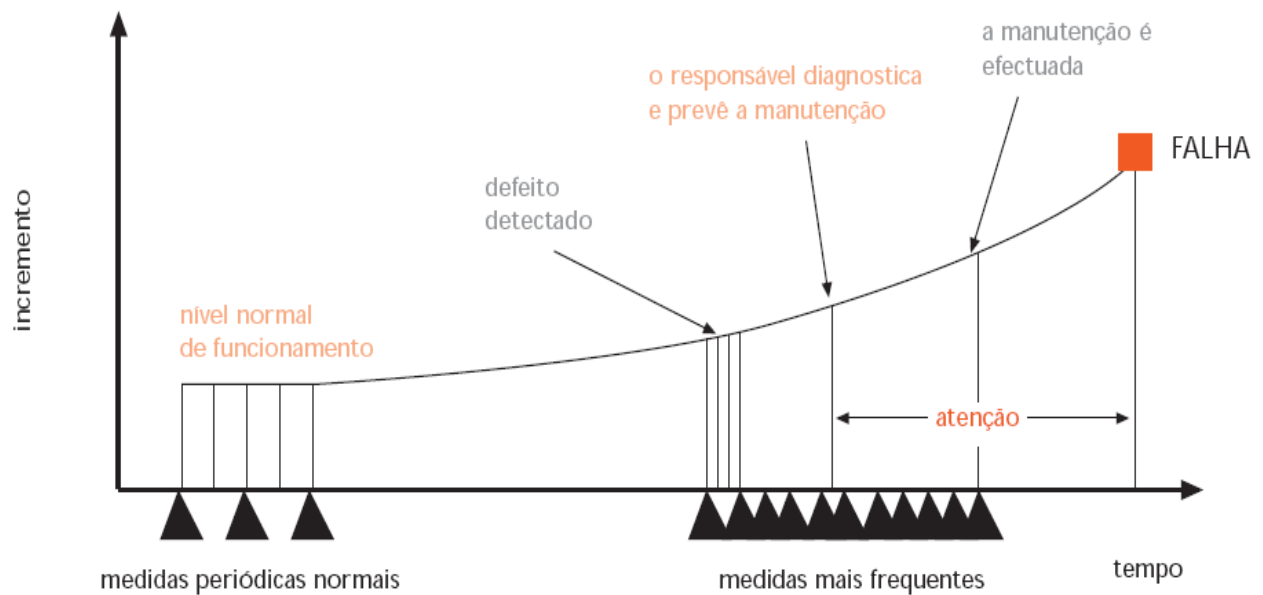


Figura 2. 6 - Ciclo da manutenção preventiva condicionada (Brito, 2003)

2.5.3. Manutenção correctiva *versus* preventiva

A manutenção correctiva acarreta altos custos devido a paragens no serviço, pois as interrupções não são programadas, acarretando custos de ociosidade de pessoas ou dos equipamentos que não estão em funcionamento, e ainda custos relativos à substituição dos componentes avariados, sendo estes últimos muitas vezes agravados pela avaria inesperada dos equipamentos.(Júnior, 2008) Assim, considera-se que os custos de manutenção correctiva são todos os custos decorrentes da função manutenção numa situação não programada, ou seja, devem também ser contabilizados os custos de equipamentos adquiridos adicionalmente para garantir o fluxo de produção perdido por paragem intempestiva e os lucros perdidos da não satisfação de encomendas.

Os acidentes ou avarias graves, por falta de manutenção preventiva, podem ter consequências muito graves ou mesmo fatais. Assim, os custos de não manutenção preventiva devem incluir os custos das reparações, as indemnizações consequentes da ocorrência, os eventuais agravamentos de prémios de seguros, multas e outras penalidades impostas pelas autoridades (Dias, Requeijo, Leal & Pereira, 2007).

A busca constante por maior eficiência e fiabilidade nos processos leva a que as empresas apostem em planos de manutenção preventiva, pois quanto maior for o nível de prevenção aplicado a um processo, menor será a probabilidade de falha (Júnior, 2008). Os custos da manutenção preventiva incluem as despesas com o pessoal, materiais e subcontratos, peças de reserva, gastos industriais e administrativos e imputações da empresa associados a gastos específicos na manutenção preventiva (Dias, Requeijo, Leal & Pereira, 2007).

Por estas razões, é importante que se faça uma reflexão e se chegue a um nível óptimo de manutenção preventiva e correctiva, pois a solução está num ponto considerado como nível óptimo de manutenção, no qual é atingido um equilíbrio entre o nível de manutenção preventiva e o custo da manutenção correctiva. Portanto, o equilíbrio dessas variáveis deverá ser o objectivo dos gestores (Júnior, 2008).

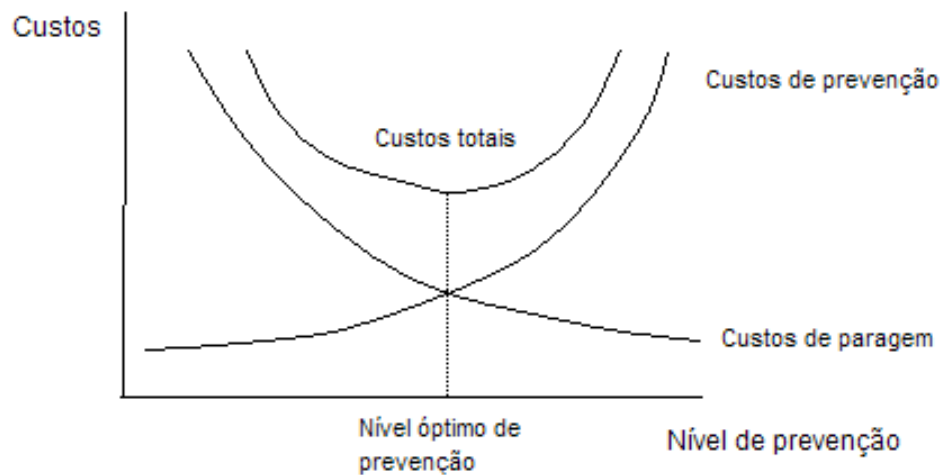


Figura 2. 7 - Nível ótimo de prevenção

2.6. A Fiabilidade

Em diversas publicações, o conceito de fiabilidade surge associado a diferentes interpretações, mas a que é aceite pela maioria dos autores é a que afirma que a fiabilidade é a probabilidade de um item cumprir a sua função durante um período de tempo sob certas condições de funcionamento (O'Connor, Newton & Bromley, 2002, p. 2).

Ter-se-á que ter em consideração que a frase anterior abre a necessidade de definir quatro elementos chave:

- Probabilidade – O primeiro elemento na definição de fiabilidade é o princípio de que existe uma variação, o que faz da fiabilidade uma probabilidade. Cada item de um sistema irá ter um tempo de vida diferente dos outros. Além disso um grupo de itens poderá ter um tempo médio de vida. Assim é possível identificar a distribuição de probabilidade de um item, o que permitirá a previsão do seu tempo de vida. Por exemplo: quando a probabilidade de sobrevivência de um item operar 20 horas é 0,85,

significa que se deverá esperar que o item fique a operar 85 vezes em 100 após um período de operação de 20 horas.

- Função – O segundo elemento a ter em conta na definição é a função que o item desempenha, o que significa que a fiabilidade é uma medida de desempenho. Para que um item seja fiável, terá de cumprir uma certa função de forma satisfatória quando requisitado para a desempenhar. Por exemplo: Se necessitarmos de viajar de carro de Lisboa para o Porto e uma das quatro velas de ignição deixar de funcionar correctamente, o carro pode não trabalhar suavemente, mas é possível que chegue ao destino no tempo estabelecido. Considerar-se-á assim que o carro teve um desempenho satisfatório. Mas se o motor do carro partir e este não chegar ao destino, considerar-se-á o desempenho do veículo insatisfatório. De notar que em qualquer dos casos deve ser definido de forma clara aquilo que se considera a função do item.
- Tempo – A fiabilidade tida como a probabilidade dos itens cumprirem a sua função deve ser medida por um período de tempo definido, pois representa a dimensão durante a qual se poderá esperar a performance especificada. A medida da fiabilidade de um item terá de ser completada com a medida do seu tempo de funcionamento ou do seu tempo de vida esperado. Este tempo poderá ser medido em qualquer unidade (segundos, horas, dias, anos, etc.)
- Condições de funcionamento – Este elemento engloba a aplicação e circunstâncias de operacionalidade sob as quais o item é utilizado. Estes factores impõem as pressões que serão impostas ao item. A alteração nas condições de operacionalidade poderá levar à alteração completa do desempenho de um item. Condições de operacionalidade como a temperatura, humidade, pressão, choques, vibração, tensão de corrente, aceleração, acústica, binário, atmosfera corrosiva, gravidade, etc., têm um efeito na performance de um item. Por exemplo: a uma temperatura demasiado elevada, os trabalhos de soldadura são ineficazes. Desta forma a definição de fiabilidade não terá sentido, se as condições de operacionalidade sob as quais o item terá de funcionar, não forem incluídas.

Além dos factores indicados acima, a fiabilidade poderá ser alterada devido a factores como: qualidade, mão-de-obra, processo de fabrico, material, armazenamento, transporte, alterações ao projecto, desvios na produção, inspecção e teste (Govil, 1983).

Interessará definir também o conceito de Não Fiabilidade, que se caracteriza por ser a probabilidade do produto falhar num certo período de tempo e sujeito a certas condições de funcionamento (Bentley, 1993).

Os objectivos da engenharia, no que diz respeito à fiabilidade, deverão ser:

- Aplicar técnicas e conhecimentos para prevenir e reduzir a frequência das falhas.
- Identificar e corrigir as causas das falhas, apesar de todos os esforços se deverem dirigir para a sua prevenção.
- Aplicar métodos para estimar a fiabilidade de novos produtos.

Esta ordem de trabalho é considerada a forma mais eficiente de trabalhar, em termos de minimização de custos e de geração de produtos fiáveis.

Os conhecimentos necessários para a sua aplicação, são a capacidade de compreensão e de antecipação das possíveis causas de falha, e conhecimento das formas de preveni-las. A capacidade de análise de dados e de *design* também serão muito importantes.

Áreas de conhecimento como a matemática e estatística devem ser usadas para quantificar a fiabilidade e para analisar os dados de avarias de um produto. Contudo, embora estas áreas possam ter uma contribuição válida em determinadas circunstâncias, a engenharia terá sempre a responsabilidade de estudar as causas dos problemas e a sua possível solução.

Associado ao conceito de fiabilidade surge também o de durabilidade, que é um aspecto particular da fiabilidade relacionado com a capacidade de um item resistir aos efeitos do tempo, distância percorrida, ciclos operativos, etc..

A durabilidade é normalmente expressa como o tempo mínimo decorrido até à ocorrência de uma falha (O'Connor, Newton & Bromley, 2002).

2.7. Falhas

Considera-se que um item falhou quando ocorre uma de três situações: Quando se torna completamente inoperacional; Quando ainda é operável, mas já não cumpre satisfatoriamente a função para a qual foi concebido; Quando atinge um estado de deterioração tal que a sua utilização já não é segura, necessitando de substituição ou reparação imediata.

A causa fundamental da falha poderá incluir aspectos no projecto, selecção do material, imperfeições no material, processo de fabrico, montagem, inspecção, teste, controlo de qualidade, armazenamento, carregamento, condições de serviço, manutenção ou exposição precoce a sobrecarga mecânica ou química. Usualmente, mais do que uma causa contribui simultaneamente para a ocorrência da falha.

A medida da fiabilidade de um sistema é a frequência na qual as falhas ocorrem. (Govil, 1983)

2.8. A função de risco

A medida do risco é baseada na intensidade de falhas de um dado sistema, ou seja, o rácio entre a concentração de falhas e a probabilidade de sobrevivência de um dado componente/sistema num momento t . Para uma taxa de falhas constante ($\lambda(t)$), a concentração de falhas em qualquer momento t , é dada pela seguinte expressão:

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t) \quad (2.3)$$

sendo a probabilidade de sobrevivência para um dado momento t , a sua fiabilidade (Locks, 1995)

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \quad (2.4)$$

Considere-se T o tempo de vida de um dado componente. Considera-se T uma variável aleatória com função de distribuição cumulativa dada por:

$$F(t) = P(T < t) \quad (2.5)$$

e uma função de densidade de probabilidade dada por:

$$p(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (2.6)$$

A função de sobrevivência mais optimista $S(t)$ é o complemento da função de distribuição cumulativa, e pode-se definir como sendo a probabilidade do tempo de sobrevivência ser maior ou igual a t (Fox, 2002).

$$S(t) = P(T \geq t) = 1 - F(t) \quad (2.7)$$

A função de risco define-se como a probabilidade de um indivíduo falhar num dado momento t , com a condição de ter sobrevivido até esse mesmo instante. A função de risco representa assim a taxa de falhas instantâneas para um indivíduo que sobreviveu até ao instante t (Collett, 1994, p. 10).

$$h(t) = \lim_{\delta t \rightarrow 0} \left\{ \frac{P(t \leq T < t + \delta t \mid T \geq t)}{\delta t} \right\} \quad (2.8)$$

Através desta definição poder-se-á relacioná-la com as funções de sobrevivência e risco, de onde se obtém:

$$h(t) = \frac{f(t)}{S(t)} \quad (2.9)$$

de onde prossegue:

$$h(t) = -\frac{d}{dt}\{\log S(t)\} \quad (2.10)$$

e

$$S(t) = \exp\{-H(t)\} \quad (2.11)$$

Da equação 2.11. pode-se retirar a função $H(t)$ a que se dá o nome de *Função de Risco Acumulado*, ou *Função de Risco Integral* (Collett, 1994):

$$H(t) = -\log S(t) \quad (2.12)$$

2.8.1. Forma típica da taxa de falhas

A Figura 2. 8 mostra a forma mais comum da taxa de falhas ($\lambda(t)$) ou taxa de avarias instantânea ao longo da vida de um produto. A Figura 2. 8, a que se dá o nome de curva em banheira, consiste na representação de três fases: falhas prematuras, vida útil e falhas por desgaste.

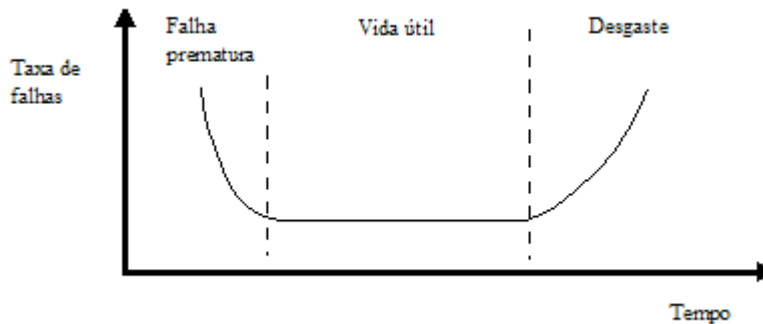


Figura 2. 8 - Curva em banheira de um dado produto

A região das falhas prematuras é caracterizada por $\lambda(t)$ decrescendo no decorrer do tempo. Quando os produtos são novos, especialmente se o produto é um novo conceito, as falhas prematuras podem ocorrer devido a falhas no *design*, má qualidade dos componentes, falhas no fabrico dos produtos e erros de manutenção. A taxa de risco diminui à medida que as falhas são identificadas e resolvidas.

A região de vida útil é caracterizada por uma baixa e constante taxa de risco. Nesta fase todos os erros foram rectificados, sendo que as falhas se deverão a erros não previsíveis.

As falhas por desgaste são caracterizadas por uma taxa de risco que aumenta no decurso do tempo à medida que o produto se aproxima do fim da sua vida prevista (Bentley, 1993).

2.9. A função de fiabilidade

Tanto a Fiabilidade como a probabilidade de falha variam com o tempo. A Fiabilidade $R(t)$ diminui com o tempo, ou seja, um item que acabou de ser testado e que se verificou que cumpria a especificação tem fiabilidade 1. Com o passar do tempo, a fiabilidade poderá ter diminuído para 0,5. Pelo contrário a probabilidade de falha aumenta com o tempo, ou seja, um item que acabou de ser testado e que se verificou que cumpria a especificação tem probabilidade de falha $F(t)$ de 0. Um ano depois essa probabilidade poderá ter aumentado para 0,5.

Em qualquer dos instantes a soma dessas probabilidades será de 1, já que o produto poderá falhar ou não (Bentley, 1993).

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (2.13)$$

A função de fiabilidade ($R(t)$) é também chamada de função de sobrevivência de T, em que $R(t)$ é uma função contínua com $R(0) = 1$ e $R(\infty) = 0$ (Lampreia, 2005). Na Figura 2. 9 apresenta-se um exemplo de uma função de fiabilidade.

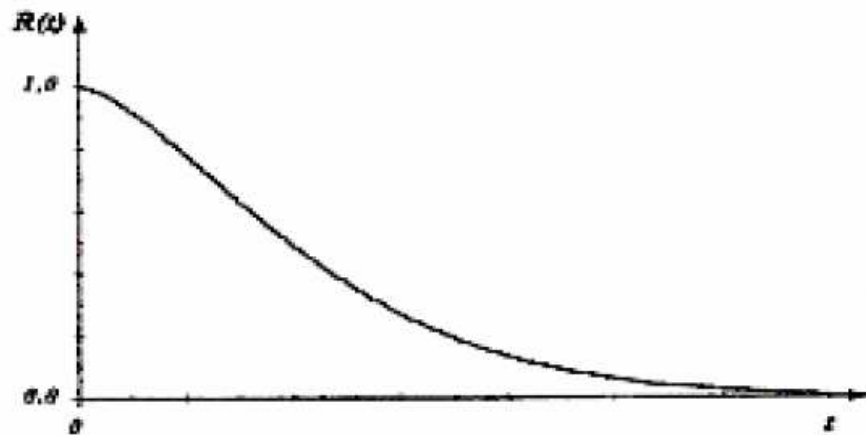


Figura 2. 9 - Exemplo de função de fiabilidade (Lampreia, 2005)

A distribuição de probabilidades de falha fornece também uma importante informação a quem analisa dados de ocorrências de falhas, na medida em que permite analisar as probabilidades de falha e sobrevivência até um dado instante.

Graficamente, $F(t)$ é a área abaixo da função densidade de probabilidade ($f(t)$) à esquerda de t . A área total abaixo da curva $f(t)$ é unitária, já que a probabilidade de falha se aproxima de 1 à medida que o tempo se aproxima do infinito (Tobias & Trindade, 1995). A Figura 2. 10 mostra um exemplo desta situação:

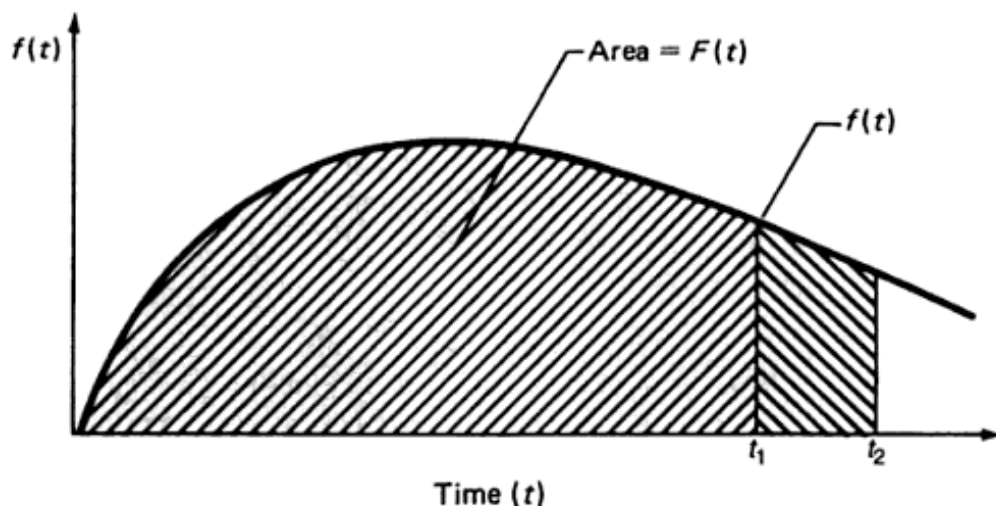


Figura 2. 10 - Exemplo de função densidade de probabilidade (Gonçalves, 2005)

2.10. Informação censurada

Para uma variável aleatória T , considera-se que ela é censurada à esquerda se aquando do início do estudo, o respectivo sistema já se encontrava a operar há algum tempo.

Uma variável é censurada à direita, se, aquando do fim do estudo, o sistema em análise continuou em funcionamento.

Os testes de duração do tempo de vida são frequentemente terminados antes de todos os n itens terem falhado, pois estes testes poderiam durar indefinidamente, com consideráveis custos e sem benefício adicional na obtenção de informação (Locks, 1995).

Os dados censurados à direita podem-se considerar de dois tipos: Tipo I e Tipo II. No tipo I o tempo de teste é estipulado e fixado, sendo igual para todas as observações. Os tempos de falha nunca podem exceder o tempo do teste, e os componentes que não falharam até àquele momento são considerados censurados à direita. A censura de tipo II é considerada por número de avarias, ao contrário do tipo I em que se estipulava um tempo de teste. Assim, pode-se estipular que um teste terminará quando um dado número de falhas ocorrerem, sendo que os componentes que não falharam são considerados censurados à direita.

É ainda possível a existência de uma censura aleatória, ou seja, o teste termina por razões impossíveis de controlar pelo investigador (Allison, 1995).

2.11. Processos de Poisson

No âmbito da fiabilidade, quando se considera o número de falhas ou reparações num intervalo finito $(0, t)$, deve-se considerar um processo de contagem $(N(t), t \geq 0)$, em que a variável aleatória,

$N(t)$, representa o número de falhas ou reparações nesse intervalo. Os Processos de Poisson foram introduzidos com o intuito de descrever um fenómeno aleatório, como por exemplo, a chegada de clientes a uma fila, uma falha ou uma reparação (Osaki, 1985). A Figura 2. 11 mostra um exemplo de um processo de contagem de eventos, em que o símbolo “×” representa uma ocorrência.

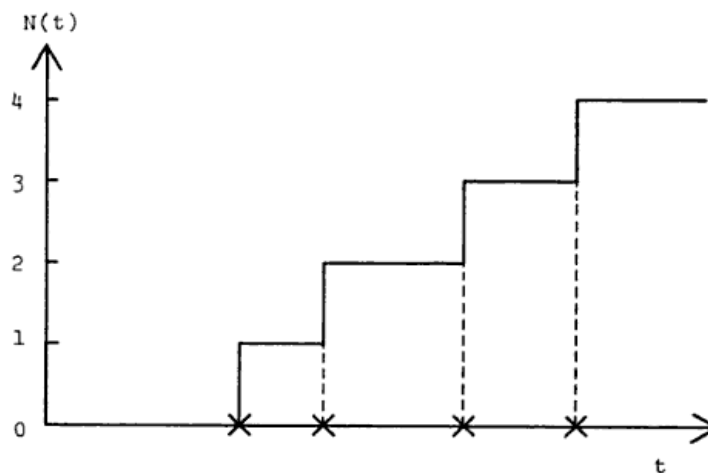


Figura 2. 11 - Exemplo de processo de contagem em função do tempo

Na área da fiabilidade industrial podem-se considerar dois tipos de modelos: os modelos onde a análise dos tempos entre falhas é realizada sem ter em conta a existência de covariáveis e os modelos de regressão, que permitem avaliar a influência de factores (covariáveis) relacionados com os aspectos físicos constituintes dos sistemas reparáveis. Os primeiros são de fácil aplicação e pouco esforço computacional. Os segundos são mais complexos do ponto de vista matemático e necessitam de maior esforço computacional.

Em função do comportamento aleatório ou não dos dados, podem-se considerar vários Processos de Poisson. Os modelos deste tipo, baseados em processos estocásticos pontuais podem apresentar as seguintes classificações:

- Processos de *Poisson* não Homogéneos (PPNH)
- Processos de *Poisson* Ramificados (PPR)
- Processos de Renovação (PR)

- Processos de *Poisson* Homogêneos (PPH)
- Processos de Renovação Sobrepostos (PRS)

Considerando a ordem cronológica das falhas e utilizando testes estatísticos, nomeadamente, o teste de Laplace, é possível identificar os vários tipos de processos estocásticos pontuais (Dias, 2002). A Figura 2. 12 representa a forma de escolha do modelo mais apropriado para cada caso.

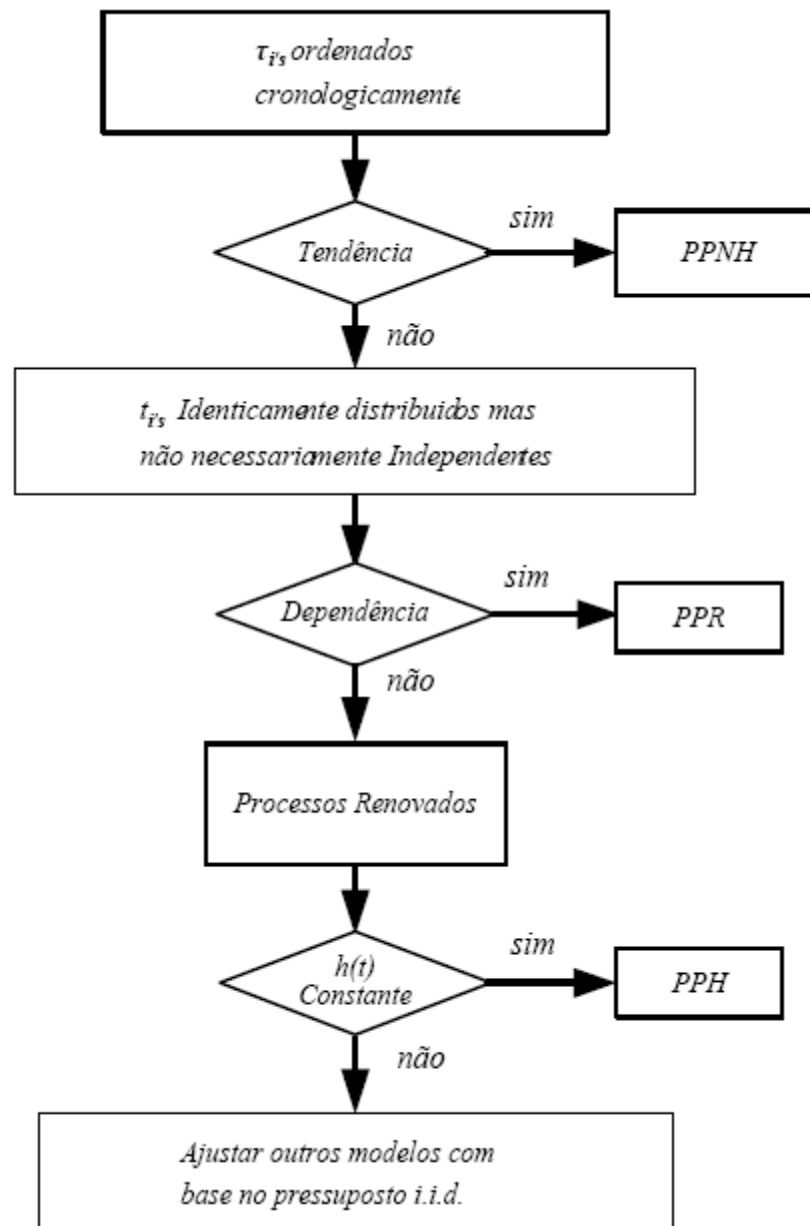


Figura 2. 12 - Fluxograma referente aos processos de Poisson (Gonçalves, 2005)

2.11.1. Processos de Poisson não Homogéneos (PPNH)

Um Processo de Poisson não Homogéneo (PPNH) caracteriza-se por uma taxa de falhas dependente do tempo, o que significa que, na medida que o tempo de teste avança, os intervalos entre falhas aumentam ou diminuem.

Pode-se então dizer que se está perante um sistema com ROCOF decrescente (taxa de falhas decrescente), ou crescente (taxa de falhas crescente) (Gonçalves, 2005).

Um PPNH apresenta as seguintes propriedades:

- A ROCOF (taxa de ocorrência de falhas) não é constante.
- A probabilidade de ocorrerem exactamente “n” falhas num intervalo $(t, t + \Delta t)$ é dada, segundo Diniz (2007), por uma distribuição de Poisson de média igual a:

$$\int_t^{t+\Delta t} \lambda(t) dt \quad (2.14)$$

Este modelo pode-se representar matematicamente por:

$$\begin{aligned} \rho(\tau) &= f(\tau) \\ R(t) &= e^{-\int \rho(\tau) d\tau} \end{aligned} \quad (2.15)$$

As duas formas não paramétricas mais aplicáveis a sistemas reparáveis são:

$$\rho_1(t) = e^{\alpha_0 + \alpha_1 t}, -\infty < \alpha_0, \alpha_1 < \infty, t \geq 0 \quad (2.16)$$

$$\rho_2(t) = \lambda^* \beta^* t^{\beta^*-1}, \lambda^*, \beta^* > 0, t \geq 0 \quad (2.17)$$

Em 1974 Crow desenvolveu e aplicou e desenvolveu estes modelos, aplicando-os a vários sistemas reparáveis, ficando o mesmo conhecido por Modelo de Crow (Ferrão e Dias, 2009).

2.11.1.1. Taxa de falhas decrescente

Os sistemas com taxa de falhas decrescente apresentam uma tendência crescente para o tempo entre falhas. Isto significa que a sua fiabilidade melhora ao longo do tempo, o que se poderá dever a melhores práticas de manutenção, ou melhor qualidade dos componentes substituídos, já que à medida que as intervenções vão sendo realizadas, a fiabilidade vai melhorando (Gonçalves, 2005).

2.11.1.2. Taxa de falhas crescente

Um sistema que apresente uma taxa de falhas crescente apresenta uma tendência decrescente para o tempo entre falhas, o que poderá ser um indicador preocupante, pois a sua fiabilidade está a piorar no decurso do tempo.

Se um sistema apresenta este tipo de taxa de falhas, deverá ser urgentemente estudado a fim de se conhecerem as razões para este acontecimento. As principais poder-se-ão dever a más práticas de manutenção, utilização de materiais de pior qualidade do que os originais ou usados e sistemas em fim de vida.

2.11.2. Processos de Poisson Homogéneos (PPH)

Um Processo de Poisson Homogéneo (PPH) caracteriza-se por apresentar uma taxa de falhas constante no tempo, ou seja, no decorrer do tempo de vida do sistema, os tempos entre falhas são independentes do tempo (ROCOF decrescente ou crescente, respectivamente).

Em circunstâncias particulares associadas a aspectos físicos dos sistemas em análise, poderá existir a necessidade de testar a independência dos dados. Em situações práticas é suficiente utilizar o teste de Laplace para assumir o pressuposto IID (independentes e identicamente distribuídos).

Um processo estocástico pontual $\{N(t), t \geq 0\}$ é um PPH se:

- $N(0) = 0$
- $\{N(\tau), \tau \geq 0\}$ é incrementado de uma forma independente
- O número de acontecimentos em qualquer intervalo Δt segue uma distribuição de Poisson com um valor médio de $m = \lambda_0 \times \Delta t$ (Dias, 2002).

Partindo do princípio que um certo conjunto de dados segue um processo de Poisson com uma dada taxa λ no período $(0, T)$, a probabilidade de falha num intervalo próximo de t , ou seja $(t, t + \Delta t)$, é:

$$F(\Delta t) = \lambda \Delta t \tag{2.18}$$

sendo as falhas em intervalos diferentes, independentes.

Da equação 2.18 retira-se que a probabilidade de sobrevivência num dado intervalo é, segundo Armstrup, McDonald & Manly (2005), por:

$$R(\Delta t) = e^{-\lambda \Delta t} \quad (2.19)$$

Em suma, se um sistema apresenta uma taxa de falhas constante, a fiabilidade é independente do tempo de vida, sendo que neste contexto se poderá falar em MTBF (*Mean Time Between Failures*) do sistema como sendo o inverso da taxa de falhas em que estas seguem um Processo de Poisson Homogéneo (Dias, 2002).

2.11.2.1. Estimativa de MTBF

Considerando um PPH, em que τ_i são os tempos de vida do sistema no momento em que surge uma anomalia, como se apresenta na figura seguinte:

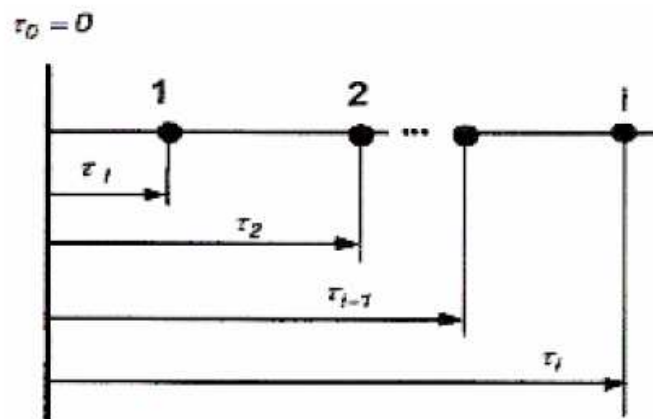


Figura 2. 13 - Exemplo de um PPH (Ferrão e Dias, 2009)

Se se estiver a estudar um sistema reparável e se monitorizar os tempos para os quais ocorre a avaria, obter-se-á um somatório de n tempos, cuja média indica o tempo média entre avarias do sistema. Assim, calcula-se o tempo médio entre avarias, ou MTBF (*Mean time between failures*) pela seguinte expressão:

$$MTBF = \theta = \frac{1}{\hat{\lambda}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.20)$$

em que se considera $x_i = \tau_i - \tau_{i-1}$ (Lampreia, 2005).

2.11.3. Processos de Poisson Ramificados (PPR)

Neste processo existem acontecimentos dependentes gerados por acontecimentos primários. Esta sequência de acontecimentos dependentes pode estar relacionada com erradas práticas de manutenção, que permitem que após a ocorrência de uma falha, sejam provocadas uma série de falhas dependentes da intervenção anterior (Dias, 2002).

2.11.4. Teste de Laplace

No estudo da fiabilidade é usual testar se existe uma tendência monótona nos tempos entre falhas sucessivas de um sistema reparável. Estes testes incluem o teste aos processos de Poisson, ou seja, testam a presença de um processo de Poisson homogéneo ou não homogéneo.

Dentro destes testes, o teste de Laplace apresenta-se como a opção mais simples e, pelo princípio da parcimónia, o melhor (Tan, Jiang & Bai, 2008).

Aplicando o Teste de Laplace, e no pressuposto de um Processo de Poisson Homogéneo, colocam-se as seguintes hipóteses:

- H_0 – Taxa de falhas constante
- H_1 – Taxa de falhas não constante
- Tomando um nível de confiança de 95% ($\alpha=0,05$)

$$z_0 = \sqrt{12 \times n_f} \times \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f \times T} - 0,5 \right] \quad (2.21)$$

Na equação anterior, que se utiliza quando o teste é limitado por tempo, se $z_0 > \left| z_{\frac{\alpha}{2}} \right|$ rejeita-se a hipótese nula, ou seja, conclui-se que o sistema apresenta uma taxa de falhas crescente ou decrescente. Nestas condições, para valores positivos de z_0 significa que o sistema apresenta uma taxa de falhas crescente, se esse valor for negativo, a referida taxa será decrescente (Dias, 2002).

Nas circunstâncias em que os valores de z_0 se encontram dentro do intervalo de confiança, está-se perante um Processo de Poisson Homogéneo (PPH), apresentando uma taxa de falhas constante.

O valor de z_0 , mesmo que dentro do intervalo de confiança, poderá, consoante o sinal, denunciar ligeiras tendências da taxa de falhas, consoante o sinal (Gonçalves, 2005).

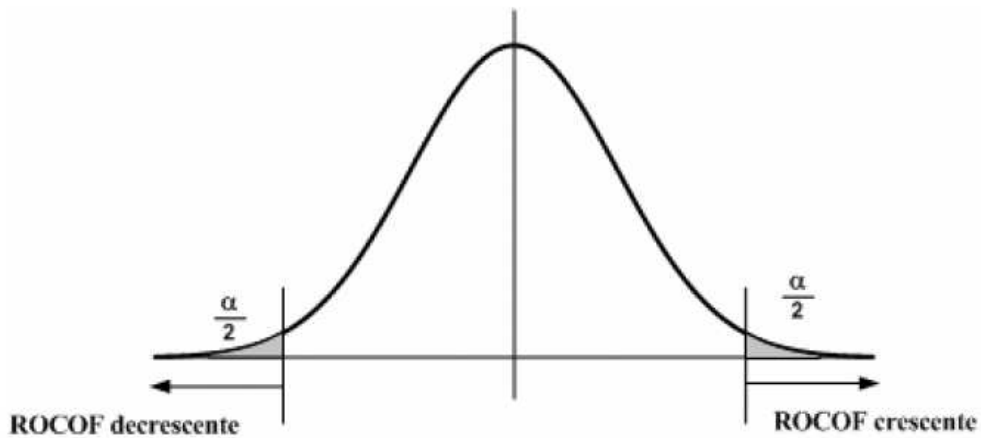


Figura 2. 14 - Distribuição normal reduzida (Gonçalves, 2005)

2.12. Modelo de Riscos Proporcionais (PHM)

No ano de 1972 o estatístico inglês D. R. Cox melhorou os modelos de taxa de riscos proporcionais existentes na época. O trabalho realizado consistiu em generalizar esses antigos modelos para uma forma não paramétrica. No processo foi introduzida uma nova e controversa forma de função de máxima verosimilhança, e promovida a utilização de covariáveis dependentes do tempo. Foi também demonstrado como a comparação de duas ou mais funções de risco pode ser relacionada na forma do modelo de riscos proporcionais.

O modelo lançado por Cox provocou uma explosão na investigação estatística dos efeitos das características individuais de pacientes no seu processo de sobrevivência, com extensão ao prognóstico (Harris & Albert, 1990).

Este tipo de estudo, além de se poder aplicar aos seres humanos, aplica-se também a outros tipos de indivíduos, que poderão ser, por exemplo, animais, equipamentos industriais, automóveis, acontecimentos sociais, etc. Ou seja, poder-se-á aplicar o modelo em tudo o que permita o estudo do efeito de factores na fiabilidade dos sistemas. Estes factores, ou variáveis explicativas, podem ser, de entre outras:

- Tipos de materiais
- Localização
- Processo de fabrico
- Características ambientais

O evento de interesse poderá ser muito variado, estando sempre de acordo com o sistema em estudo, por exemplo:

- Na área da biomedicina: morte, reacção a uma certa medicação, recaída de uma doença, etc.

- Nas experiências industriais: fundição de um fusível, quebra de uma correia, etc.
- Na área dos seguros: roubos ou sinistros (Lampreia, 2005)

Tal como foi referido no ponto 2.7., a análise de sobrevivência, tipicamente, analisa a relação da distribuição de sobrevivência, com covariáveis. Esta análise inclui a modelação de um modelo Loglinear da função de risco. Por exemplo, um modelo paramétrico baseado na distribuição exponencial poderá ser descrito como:

$$\log h_i(t) = \alpha + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} \quad (2.22)$$

de onde se retira

$$h_i(t) = \exp(\alpha + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik}) \quad (2.23)$$

onde i representa a ordem da observação, e x representa as covariáveis (Fox, 2002). O parâmetro β representa o vector dos coeficientes de regressão, $\beta^T = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p)$, $p \times 1$, com p a representar o número de covariáveis presentes no modelo (Dias, 2002). A constante α representa, neste modelo, uma função de risco de base logarítmica:

$$h_i(t) = e^\alpha \quad (2.24)$$

em que todas as covariáveis tomam um valor nulo.

O modelo de Cox reserva a função de base

$$\alpha(t) = \log h_0(t) \quad (2.25)$$

não especificada (Fox, 2002), arbitrária, não negativa e em função do tempo. A função de Cox para covariáveis fixas, z , é dada por:

$$h(t; z) = h_0(t) \cdot \exp(z \cdot \beta) \quad (2.26)$$

Pelo facto da função de base (h_0) não ser assumida como tendo uma forma paramétrica, este modelo é referido, em várias literaturas, como sendo um modelo semi-paramétrico para a função de risco (Thompson, Chhikara & Conkin, 2003). Da equação 2.26 retira-se que a função de fiabilidade é dada por:

$$R(t; Z) = [R_0(t)]^{\exp(\beta_1 z_1 + \beta_2 z_2 + \dots + \beta_k z_k)} \quad (2.27)$$

em que R_0 é a função de fiabilidade de base, quando não são especificadas as covariáveis, Z é o vector linha das k covariáveis, β é o vector coluna dos k coeficientes da regressão e t (variável dependente) o intervalo de tempo entre avarias (Ferrão e Dias, 2009).

Ainda que a função de base não seja especificada, o parâmetro β pode ser estimado pelo método da verosimilhança parcial, desenvolvido por Cox no ano de 1972 (Fox, 2002).

Os estimadores de máxima verosimilhança parcial são sensíveis a amostras de tamanho pequeno a médio, especialmente quando essas amostras têm uma elevada proporção de dados censurados (Oliveira, Cruz & Colosimo, 2007). Este estimador é dado pela equação 2.28:

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^k \frac{e^{z_i \cdot \beta}}{\sum_{l \in \mathfrak{R}(t_i)} e^{z_l \cdot \beta}} \quad (2.28)$$

onde k é o número observado de tempos de falha e $\mathfrak{R}(t_i)$ o número de elementos em risco imediatamente antes de t_i , isto é, $\mathfrak{R}(t_i) = \{i, (i+1), \dots, k\}$ (Dias, 2002).

Do ponto de vista matemático, a implementação deste procedimento parece ser simples, pois tudo o que se tem a fazer é maximizar a função de verosimilhança em ordem a $\hat{\beta}$. Para tal, bastará igualar a zero as derivadas parciais da função de verosimilhança e encontrar o vector $\hat{\beta}$ que resolve este conjunto de equações. As equações a maximizar serão:

$$U_j(\beta) = \frac{\partial \ln[L(\beta)]}{\partial \beta_j} \quad (2.29)$$

e

$$I_{hj} = -\frac{\partial^2 \ln[L(\beta)]}{\partial \beta_h \partial \beta_j} \quad (2.30)$$

O novo valor de $\hat{\beta}$ será obtido pela solução das equações 2.29 e 2.30, tendo-se, na convergência, $U(\beta) = 0$ (Cramer, 1986).

A probabilidade de uma ocorrência em i ($i \in \mathfrak{R}(t_i)$), para um dado número de elementos em risco $\mathfrak{R}(t)$ e dado que uma ocorrência acontece em t , será (Dias, 2002):

$$\frac{h(t; z_i)}{\sum_{l \in \mathfrak{R}(t_i)} h(t; z_l)} = \frac{h_0(t) \cdot e^{z_i \cdot \beta}}{\sum_{l \in \mathfrak{R}(t_i)} h_0(t) \cdot e^{z_l \cdot \beta}} = \frac{e^{z_i \cdot \beta}}{\sum_{l \in \mathfrak{R}(t_i)} e^{z_l \cdot \beta}} \quad (2.31)$$

2.12.1. Análise dos resíduos

A avaliação do ajustamento de modelos a um conjunto de observações tem grande importância para validar a escolha desse modelo. Muitos procedimentos para esta avaliação são baseados no estudo dos resíduos.

Várias espécies diferentes de resíduos têm sido propostos para modelos de sobrevivência, mas a alternativa mais apropriada surge a partir dos Resíduos Generalizados de Cox-Snell (Collet, 1994).

Este modelo refere que a representação gráfica de $-\ln\left[R\left(\hat{e}_i\right)\right]$, obtida pelo método de Kaplan-Meier em comparação com \hat{e}_i , sendo \hat{e}_i dado por:

$$\hat{e}_i = -\ln R(t_i | z_i) \quad (2.32)$$

deverá permitir ajustar uma recta na origem com inclinação unitária, assim como os valores de \hat{e}_i deverão seguir uma distribuição exponencial com parâmetro $\lambda = 1$ (Dias, 2002).

2.13. Fiabilidade e manutenção no século XXI

No presente século e nos tempos que virão, as empresas que queiram competir irão partilhar uma preocupação comum. Todas quererão produzir produtos de qualidade que cumpram, ou excedam, as especificações que os clientes desejam. Este facto não é uma novidade, já nos dias de hoje, mas as ferramentas necessárias para o atingir serão. Já hoje, em algumas indústrias, a tecnologia evolui tão rapidamente, que os consumidores trocam os seus produtos, ainda em perfeito estado de conservação, por produtos mais recentes e tecnologicamente mais avançados. Esta baixa necessidade de durabilidade poderia ser o ideal para as empresas, mas, na realidade, conseguir desenvolver produtos cada vez mais rapidamente, e com a fiabilidade esperada pelo consumidores, irá exigir uma nova forma de trabalho por parte das empresas.

As empresas pagam um preço bastante alto quando desenvolvem um produto que não apresenta a fiabilidade necessária, pois os clientes que não ficam satisfeitos deixam de comprar os seus produtos, mesmo que estes tenham os preços mais competitivos do mercado.

Deste modo, analisando as tendências, o futuro irá obrigar as empresas a desenvolver produtos de uma forma cada vez mais rápida, cumprindo a fiabilidade exigida pelos clientes (Levin & Kalal, 2003).

Com formas cada vez mais eficazes de produzir e controlar a qualidade, tal como a filosofia *Lean* e os programas *seis sigma*, uma pequena paragem na produção, ou mesmo uma perda de velocidade, poderão criar sérios problemas de fornecimento dos produtos. Daí que os serviços de manutenção terão de se adaptar a estes novos modelos produtivos, providenciando serviços rápidos e eficazes, utilizando para isso uma boa organização do pessoal e dos materiais.

Ao mesmo tempo, a cada vez maior preocupação com o ambiente e a segurança leva a que novos desafios se imponham aos profissionais da manutenção, já que a manutenção ajuda a diminuir os consumos energéticos e providencia uma menor emissão de gases nocivos para a atmosfera (Jardine & Tsang, 2006).

CAPÍTULO 3 – Introdução ao caso prático

3.1. Evolução histórica dos transportes públicos

Ao longo dos tempos o Homem sempre teve necessidade de se deslocar de um local para outro. Será portanto impossível determinar o real nascimento do conceito de transporte público, já que no decurso da História o serviço de transportar alguém foi sempre fornecido.

No entanto, desde a última metade do século XVIII houve uma importante melhoria na movimentação de pessoas e bens através da construção de canais para o transporte de mercadorias pesadas e da melhoria dos pavimentos para o transporte de passageiros em diligências.

A mudança decisiva deu-se com a introdução da locomotiva a vapor, desenvolvida por *George Stephenson* em 1814. Por volta de 1830 a locomotiva já se deslocava a 50 km/h e a utilização de carris de aço, de travões automáticos e de carruagens mais confortáveis, fez com que as pessoas se apercebessem da importância dos caminhos de ferro para o transporte de passageiros.

A nova mobilidade assim dada às pessoas, mercadorias e ideias, veio revolucionar, irreversivelmente, o nosso Mundo (Wright, 1982).

Com o desenvolvimento da máquina a vapor e da sua aplicação aos comboios, também no âmbito urbano começaram a surgir ideias para a substituição dos coches.

Em 1827 *Sir Goldworthy Gurney* constrói uma diligência a vapor com capacidade para 27 passageiros e que se demonstrou bastante eficaz. Mas, numa época conturbada de múltiplos desenvolvimentos, a invenção de *Gurney* foi muito mal acolhida.

Os desenvolvimentos das diligências a vapor continuaram, mas foram começando a ser interrompidos devido aos desenvolvimentos nos motores de explosão.

A descoberta do ciclo a quatro tempos por parte de *Otto* em 1876, veio revolucionar completamente as viaturas automóveis, levando ao abandono da propulsão a vapor.

As primeiras realizações sérias e práticas de viaturas automóveis com motores a quatro tempos foram as realizadas por *Karl Benz* em 1885 e *Gottlieb Daimler* em 1886 (Sá Carneiro, 1965).

No dia 18 de Março de 1895, precisamente às 6:25 a.m., foi posto em circulação o primeiro autocarro, construído por *Karl Benz*.



Figura 3. 1 - Primeiro autocarro

Este autocarro viria mudar, para melhor, a vida daqueles que diariamente tinham de cumprir o trajecto entre as cidade alemãs de *Siegen, Netphen e Deuz*. Este autocarro conseguia cumprir médias de 15 km/h, com o seu motor de combustão de 5 cavalos, e transportava no máximo 8 passageiros.

O conceito de autocarro manteve-se esse até aos dias de hoje: o transporte de um bom número de passageiros numa rota preestabelecida.

3.2. Os Serviços Municipalizados de Transportes Colectivos do Barreiro

No dia 24 de Fevereiro de 1957 nasce no Barreiro o Serviço de Transportes Colectivos de Pessoas, dispondo de uma frota de 5 autocarros. No primeiro ano em que exerceu actividade a empresa transportou 2,4 milhões de passageiros, o que a levou a aumentar a frota para 10 viaturas.



Figura 3. 2 - Autocarro nº1 da frota dos SMTCB

Dez anos mais tarde já existiam 20 autocarros a percorrerem 15 percursos. Nesse ano foram já transportados 6,8 milhões de passageiros.

A partir de 1977 os Transportes Colectivos do Barreiro (TCB) integraram o sistema de passe intermodal da Região de Lisboa, tendo para tal sido adquiridas 61 viaturas. O número de passageiros transportados anualmente alargou-se para 12,1 milhões.

Iniciou-se, em 1977, o processo de abate e entrada em circulação de novas viaturas, processo que se desenvolveu até 1986.

No mês de Janeiro de 1987 a exploração foi autonomizada sob a designação de Serviços Municipalizados de Transportes Colectivos do Barreiro (SMTCB). A frota ficou composta por 79 autocarros e foram transportados 27,9 milhões de passageiros.

Em 1993 são inauguradas novas instalações situadas na Avenida dos Resistentes Antifascistas, no Lavradio, num espaço moderno e funcional com 26.400 m², dispondo de modernas infra-estruturas como áreas de estacionamento, lavagem, abastecimento, oficinas, edifício administrativo e amplas zonas de circulação.



Figura 3. 3 - Instalações dos SMTCB

O ano de 1997 marcou o início de um processo de renovação da frota com a introdução de novas viaturas com piso rebaixado, ar condicionado e que cumpriam as normas europeias.

No ano de 2007 foram adquiridas viaturas mais pequenas para rotas com menor fluxo de utentes.

Actualmente o acesso à rede TCB fica sempre a menos de 500 m de qualquer aglomerado populacional do Concelho. Os TCB cobrem, com a sua frota de 68 autocarros urbanos, a totalidade do Concelho através de 15 linhas, numa extensão de 147.9 Km, assegurando 23 em cada 24 horas de serviço. Cumprindo um total de 1.009 viagens por dia, os TCB transportam por ano cerca de 20 milhões de passageiros.

3.2.1. A organização dos S.M.T.C.B.

A empresa conta hoje com um largo número de colaboradores, divididos pelos diversos departamentos, estando a estrutura hierárquica organizada da seguinte forma:

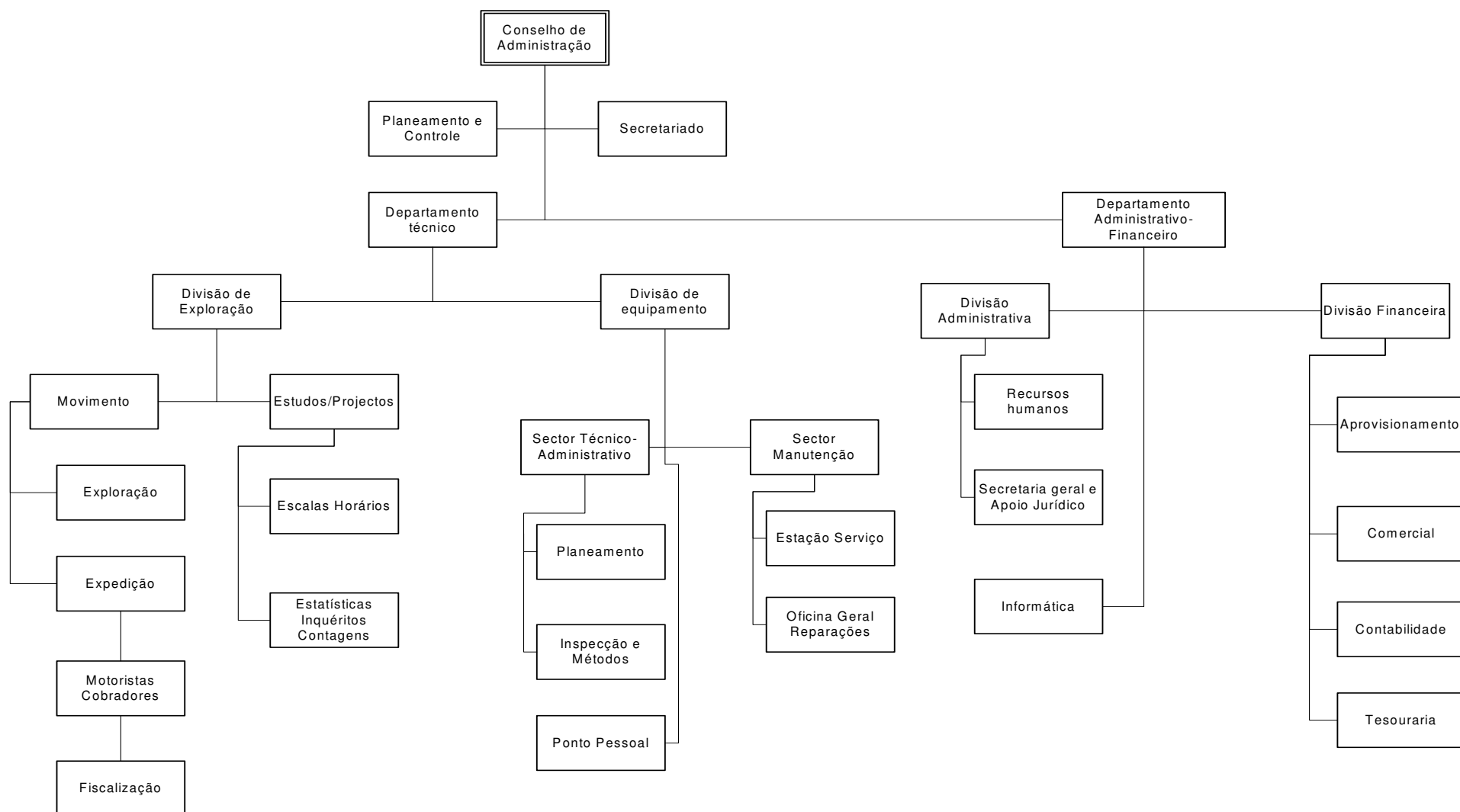


Figura 3. 4 - Organização dos S.M.T.C.B.

3.2.1.1. A divisão de equipamento

A divisão de equipamento tem por finalidade assegurar a manutenção da frota de autocarros, viaturas ligeiras e das instalações dos SMTCB. Dispondo de um efectivo de 45 funcionários distribuídos por três áreas de intervenção:

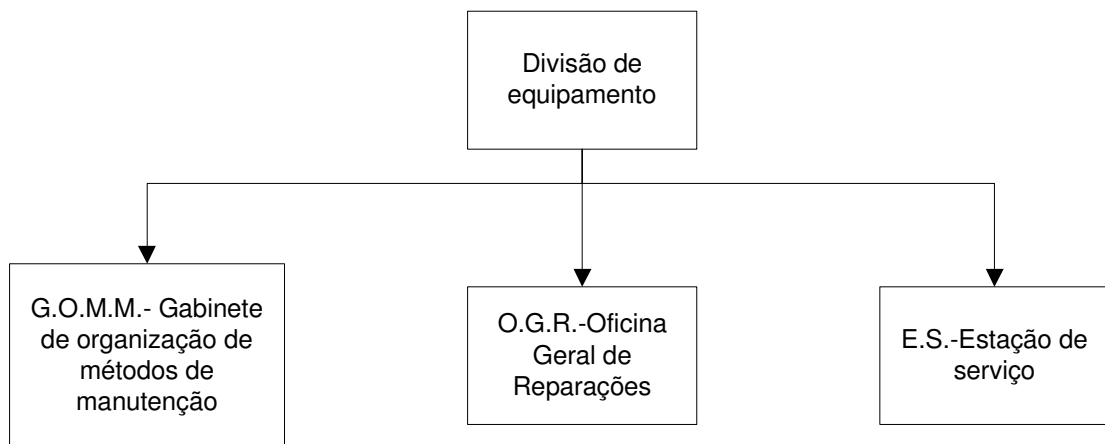


Figura 3. 5 - Organização da divisão de equipamento

Esta divisão tem por objectivos:

- Proporcionar melhor nível de conforto e qualidade
- Assegurar a máxima segurança de pessoas e bens
- Diminuir os custos directos e indirectos por avarias
- Reduzir os *stocks* de peças de substituição
- Assegurar ao movimento o número de viaturas ao nível pretendido



Figura 3. 6 - Oficinas dos SMTCB

3.2.2. A manutenção nos S.M.T.C.B.

As manutenções realizadas nos autocarros dos S.M.T.C.B. são do tipo curativo e preventivo, e podem-se representar pelo gráfico seguinte:

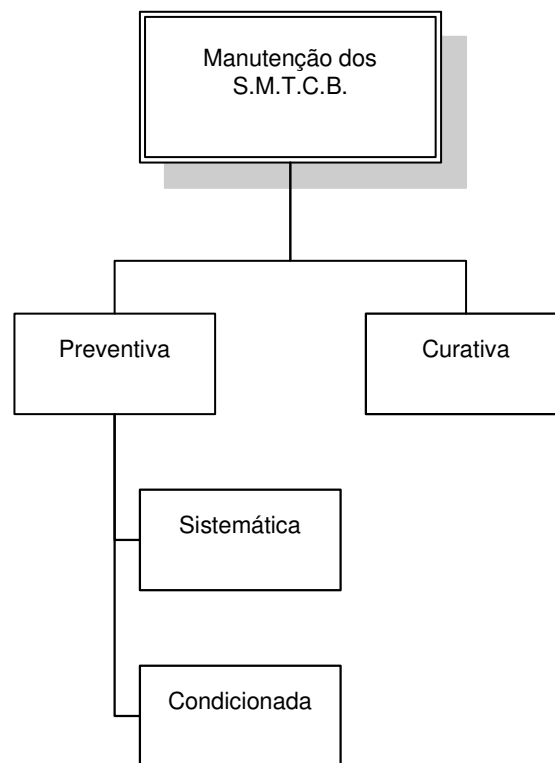


Figura 3. 7 - A manutenção nos S.M.T.C.B.

As manutenções preventivas são divididas em dois tipos: Sistemáticas e Condicionadas.

- As manutenções do tipo sistemático são as realizadas num intervalo específico de tempo, de onde se pode tirar um exemplo as verificações e reabastecimentos diários do nível do óleo ou líquido de refrigeração.
- As manutenções condicionadas são realizadas de acordo com o estado de conservação do componente, e são realizadas nos componentes mais dispendiosos. O esquema de substituições é o seguinte: A peça é verificada e se não estiver dentro das especificações é substituída por uma previamente armazenada. A peça retirada entra então em armazém onde será reparada de forma a poder substituir uma outra que se encontre avariada – peças rotáveis.

Por razões económicas é necessário otimizar as quantidades de peças rotáveis. A quantidade suficiente permitiria actuar antes da ocorrência da avaria, mas infelizmente esse número não é suficiente, dificultando esta acção.

As manutenções curativas são as realizadas por reacção às avarias e são efectuadas nos componentes menos dispendiosos.

De referir que a empresa tem investido largas quantias de dinheiro em grandes reparações de veículos mais antigos, com o intuito de os manter operacionais por um maior período de tempo. Como exemplo temos a quantia de 70.991€ investidos no ano de 2006 com o objectivo de aumentar a vida útil de veículos mais antigos.

3.2.3. Frota e veículo escolhido

Como se pôde constatar pela leitura do ponto 3.2., a frota de veículos foi sendo actualizada na medida das possibilidades da empresa.

A empresa conta com veículos para diversos tipos de serviços, existindo uma frota para transporte urbano e turística.

Em 2007 foram adquiridos 3 autocarros *Mercedes Sprinter*, que são veículos mais pequenos, e que representam menores custos para a empresa, pois são veículos que consomem menos combustível e exigem menores gastos de manutenção.

A utilização destes veículos, que não são utilizados em todas as rotas, deve-se ao facto de, em certas rotas, a taxa de utilização ser inferior a 40%. Fez assim sentido a aquisição de veículos de menores dimensões.

Nos dias de hoje a frota é constituída por 74 veículos, sendo dividida em urbanos e turísticos da seguinte forma:

Tabela 3. 1 - Frota actual dos SMTCB

Tipo de veículo	Quantidade
Urbano	68
Turístico	6

Neste trabalho a análise dos dados históricos será feita apenas com referência a um modelo de autocarro – O *Mercedes Citaro O530*.

O *Mercedes-Benz Citaro O530* é o mais moderno modelo urbano de passageiros do fabricante germânico, tendo sido introduzido em 1997, ano em que substituiu o *Mercedes-Benz O405*. Possui capacidade para 86 passageiros (em pé e sentados). É um veículo que, na versão *Diesel*, cumpre as normas europeias em termos de protecção ambiental (*Euro 4*), sendo que o fabricante possui modelos híbridos, com ainda maior respeito pelo ambiente.

O motor tem um volume de 6370 cm³, distribuído pelos seus 6 cilindros dispostos em linha, que debita uma potência máxima de 285 *Hp*, e um binário máximo de 1120 *Nm*.

No capítulo da segurança, este modelo é equipado com 4 discos de travão, sistema de anti-bloqueio de travagem (ABS) e controlo de tracção (ASR).

Em termos de conforto para os passageiros, os modelos são dotados de ar-condicionado e de piso rebaixado, facilitando de forma eficiente a vida aos utentes com mobilidade reduzida.

Foi escolhido este modelo pelo facto de ser o modelo mais abundante na empresa (14 autocarros), mais recente e mais evoluído tecnologicamente na gama de autocarros urbanos. Por este facto um programa de manutenção preventiva será possível de ser realizado, pois as peças serão fáceis de adquirir no mercado, e fará todo o sentido, pois destes autocarros espera-se a máxima fiabilidade e disponibilidade.



Figura 3. 8 - Mercedes Citaro dos SMTCB

3.2.4. Taxas de imobilização e de operacionalidade

A taxa de imobilização é um bom indicador da fiabilidade dos veículos, bem como dos tempos de manutenção que os mesmos necessitam. Os valores apresentados referem-se a toda a frota, e são representativos do ano de 2006.

Tabela 3. 2 - Taxa de imobilização em 2006

Mês	Taxa de imobilização	Taxa de imobilização sem acidentes
Janeiro	18,32	14,10
Fevereiro	15,75	13,23
Março	17,25	13,81
Abril	15,38	14,66
Maio	16,67	16,67
Junho	17,65	17,65
Julho	19,64	19,15
Agosto	18,07	18,07
Setembro	17,91	17,22
Outubro	16,40	16,40
Novembro	15,60	15,60
Dezembro	15,52	15,52
Anual	17,04	16,04

Graficamente poder-se-á ilustrar a taxa de imobilização deste ano no gráfico da Figura 3. 9:

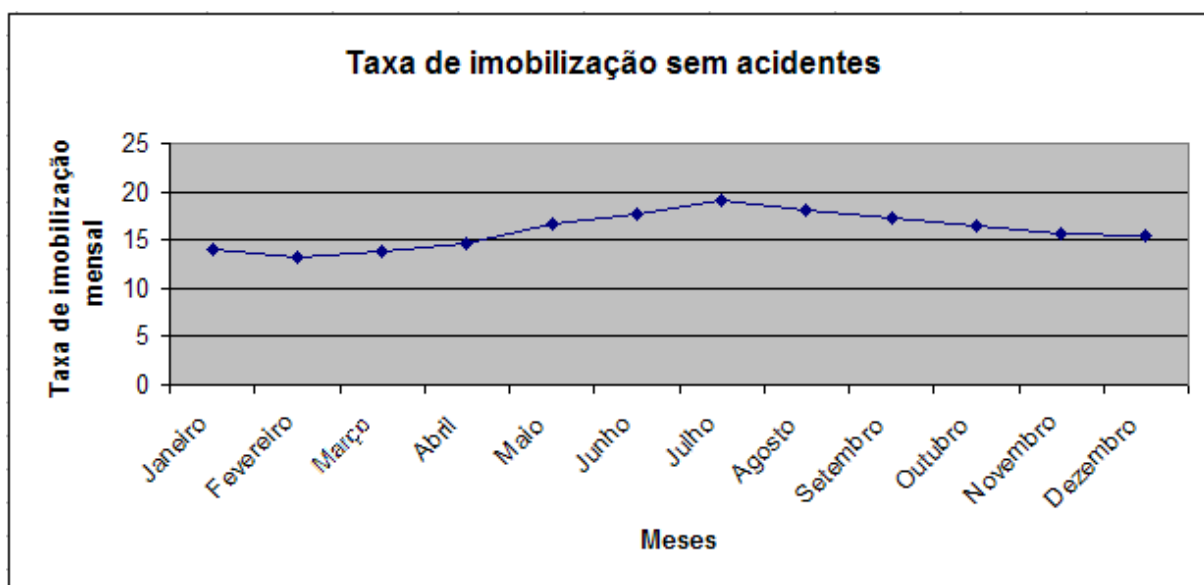


Figura 3. 9 - Gráfico ilustrativo das taxas de imobilização sem acidentes

A taxa de operacionalidade das viaturas será o inverso da taxa de imobilização, mas neste caso os dados são fornecidos por marca e modelo de veículo.

Tabela 3. 3 - Taxa de operacionalidade em 2006

Série de Autocarros	Anos da frota (em 2006)	2006		2006 Taxa de operacionalidade	Número de autocarros da frota
		Total de viaturas para serviço	Total de viaturas imobilizadas		
AEC	35	1095	0	100	3
AEC	28	365	0	100	1
Volvo B10R	25	5110	1136	77,77	14
Volvo B10R	21	3650	823	77,45	10
Volvo B10M	20	730	8	98,9	2
Volvo B10B	5	3650	293	91,97	10
Merc. Citaro O530	5/4	4436	1507	66,03	14
Merc. O303	24	5110	881	82,76	14
Merc. O305	15	730	0	100	2
Setra HD	23/20	730	13	98,22	2
DAF SB220	9/8	2920	199	93,18	8
Totais		28526	4860	82,96	78

A Tabela 3. 3 pode-se resumir numa análise gráfica, que se materializa na Figura 3. 10:

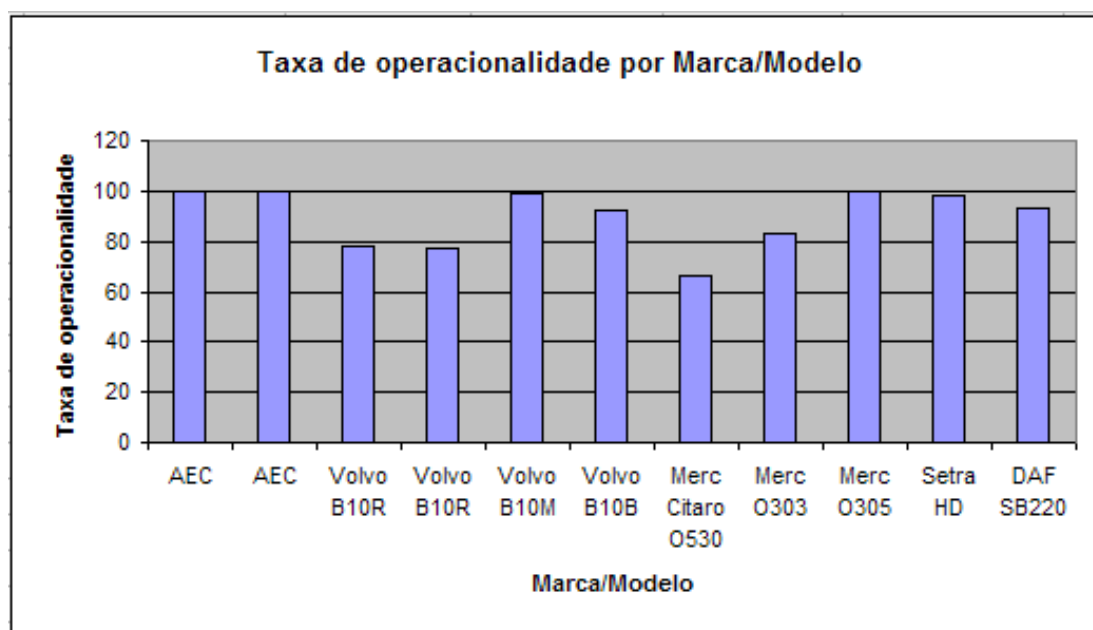


Figura 3. 10 - Taxa de operacionalidade por marca/modelo

O total de viaturas é dado pelo número de dias do ano multiplicado pelo número de veículos.

Os valores entre parêntesis na frente do modelo do autocarro dizem respeito ao número de autocarros existentes no início do ano. Como se pode ver em algumas frotas, esse número baixou (política de abate de veículos mais antigos) e noutras subiu (política de aquisição de novos veículos).

De notar que a taxa de operacionalidade dos veículos de marca Mercedes Citaro O530 apresenta valores baixos para uma frota que, neste ano, tinha uma idade de apenas cinco e quatro anos, o que poderá revelar algumas más práticas de manutenção. É curioso observar que esta frota tem valores de operacionalidade inferiores aos observados pela frota Volvo, que é bastante mais antiga.

Será no entanto injusto comparar a taxa de operacionalidade dos veículos Mercedes Citaro com as dos veículos de turismo, pelo que não se deverá comparar essa operacionalidade com a operacionalidade total da frota, que também inclui os veículos de turismo. Para tal vai-se observar a evolução da taxa de operacionalidade da frota de veículos urbanos em cinco anos (até 2006) e verificar até que ponto a manutenção dos veículos tem estado a melhorar ou não.

Tabela 3. 4 - Evolução anual da taxa de operacionalidade da frota urbana

Evolução anual da taxa de operacionalidade					
Ano	2002	2003	2004	2005	2006
Taxa	83,4	82,8	82,2	78,4	74,2

Representando-se em termos gráficos na Figura 3. 11.

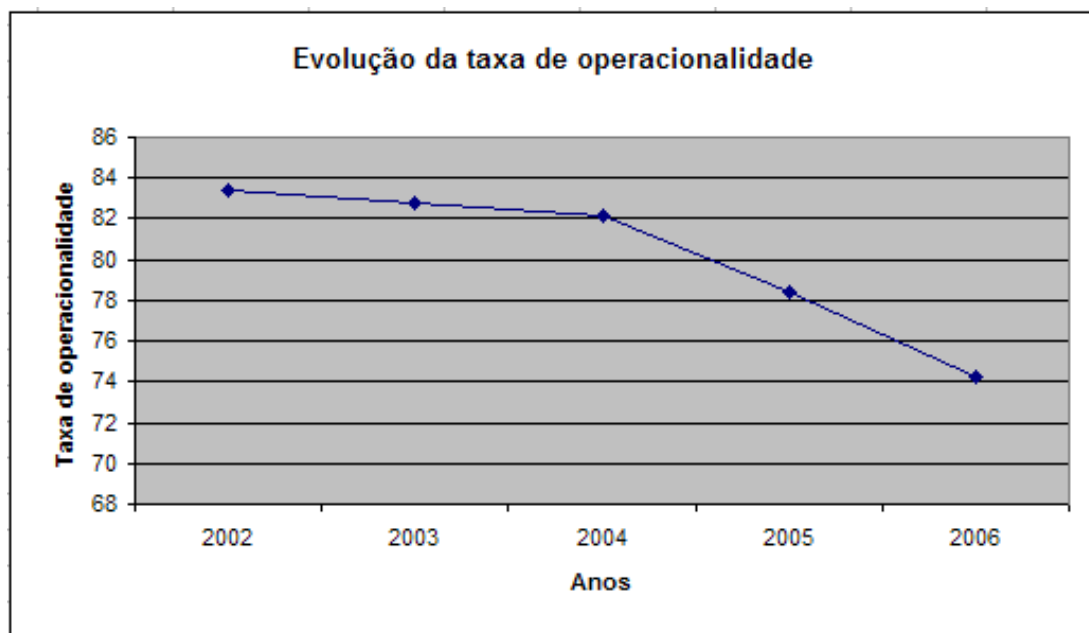


Figura 3. 11 - Evolução da taxa de operacionalidade anual

Como se pode verificar, mesmo em termos globais, a taxa de operacionalidade da frota tem vindo a diminuir, pelo que se justifica a realização deste trabalho, revelando-se até de carácter urgente.

CAPÍTULO 4 – Metodologia

4.1. Procedimento para obtenção dos dados

Os dados constantes no histórico de avarias (em anexo) foram obtidos através de históricos manuscritos, realizados pelos próprios funcionários da empresa, a partir dos trabalhos realizados em oficina. Para o registo dessas avarias os funcionários utilizaram o formulário constante em anexo.

As avarias estudadas iniciam com a aquisição dos primeiros autocarros (novos) no dia 01-08-2001, pelo que não existirão dados censurados à esquerda.

O teste termina no dia 31-12-2008, e após esta data os autocarros continuaram a circular. Desta forma o tempo de vida dos componentes nesta data, será censurado à direita.

Esses registos manuscritos foram introduzidos na aplicação informática *Excel*, de forma a facilitar a análise do histórico de avarias.

4.2. Introdução dos dados

Tal como foi referido no ponto 4.1., numa primeira fase os dados foram introduzidos no programa *Excel* de forma a ser mais fácil estudar o comportamento dos mesmos, tendo em conta que o número de observações ascendia a 2207, e que se torna bastante complicado trabalhar com um número tão elevado de dados sem recorrer a aplicações informáticas.

O sistema autocarro, sendo um sistema muito complexo, foi dividido em sub sistemas, de forma a englobar os grupos de componentes que um autocarro possui. Os sub-sistemas foram então divididos por grupos de componentes, ficando assim o estudo dedicado aos mesmos. O autocarro divide-se então da seguinte forma:

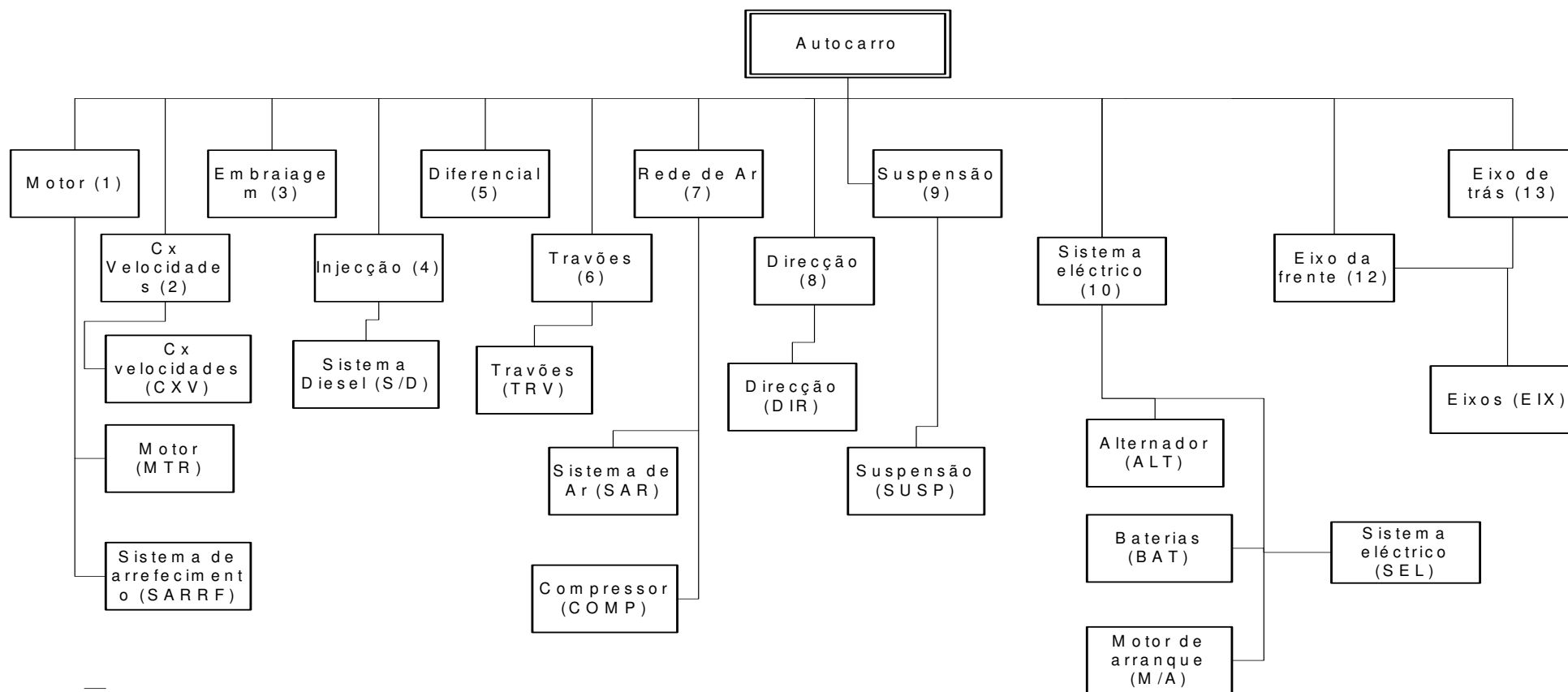


Figura 4. 1 - Divisão do autocarro por sub-sistemas

Na Figura 4. 1 pode-se observar que o autocarro foi dividido em doze sub sistemas, sendo que o número entre parêntesis representa o código que a empresa atribui a cada um dos mesmos.

No nível seguinte encontram-se os grupos de componentes que levam às causas principais de desemanagem apuradas pela empresa. Cada um desses grupos terá uma sigla, para simplificação das folhas de cálculo.

As avarias são registadas por data, ao invés de serem registadas por quilómetros, o que é um procedimento errado, pois os autocarros não andam o mesmo número de quilómetros diariamente, e assim torna-se mais complicado prever as futuras avarias. Para minimizar esse problema os quilómetros em que as avarias ocorreram foram estimados através dos quilómetros mensais realizados pelos autocarros (único registo que a empresa faz) e sua respectiva média diária. A Tabela 4. 2 exemplifica o cálculo realizado para a estimativa desses quilómetros diários:

Tabela 4. 1 - Exemplo de estimativa dos km's realizados diariamente

Autocarro	Ano	Mês	KM	Média
58	2001	Agosto	5005	161,45
		Setembro	5007	166,90
		Outubro	4965	160,16
		Novembro	5488	182,93
		Dezembro	3967	127,97

A partir destes valores, e com as datas em que as avarias sucederam, conseguiu-se estimar os quilómetros em que em que as falhas ocorreram. A Tabela 4. 2 mostra parte desse cálculo:

Tabela 4. 2 - Exemplo de estimativa dos Km's em que as avarias ocorreram

KM acumulados	Dif Km	Julian Day	Dif dias	Data	Sub sistema	Grupo componentes
760	760	37113	10	10-08-2001	10	SEL
8731	7971	37181	68	17-10-2001	10	SEL
15076	6345	37244	63	19-12-2001	2	CXV
36596	21519	37384	140	08-05-2002	1	MTR
36596	0	37384	0	08-05-2002	1	SARRF

A diferença de quilómetros entre avarias foi calculada, para cada autocarro, através da multiplicação da diferença de dias entre avarias (tendo em conta os meses em que ocorrem), pela média diária de quilómetros do mês correspondente.

4.3. Organização dos dados

- **Passo 1** - Para cada sistema foi colocado um filtro, de forma a seleccionar o componente pretendido. Após a colocação do filtro, copiaram-se os dados correspondentes ao componente e à idade do sistema para a avaria de ordem i para uma nova tabela.
- **Passo 2** – Na nova tabela calcula-se o tempo de vida para cada componente. Esse tempo é dado pela diferença entre o valor da idade do sistema (em quilómetros) para a avaria i e a idade do sistema para a avaria $i-1$. Na Tabela 4. 3 pode-se observar o cálculo realizado.

Tabela 4. 3 - Exemplo de cálculo do tempo de vida dos componentes

Componente	Data	Km totais	Tempo de vida
ALT	23-09-2002	60349	60349
ALT	16-08-2003	102526	42178
ALT	08-09-2003	106606	4079
ALT	23-02-2005	202438	95833
ALT	27-06-2005	222852	20414
ALT	18-10-2005	240880	18028

- **Passo 3** – À Tabela 4. 3 adicionou-se uma nova coluna referente aos dados censurados. Esses dados poderão tomar o valor 1, no caso de não serem censurados, ou o valor 0, no caso de o serem. Estes dados são censurados à direita, pois quando o teste terminou, os componentes continuaram em funcionamento. Desta forma, cada componente de cada sistema terá um dado censurado à direita. Um exemplo do cálculo dos dados censurados apresenta-se na Tabela 4. 4:

Tabela 4. 4 - Exemplo de demonstração de dados censurados

Componente	Data	Km totais	Tempo de vida	Censurado
ALT	23-09-2002	60349	60349	1
ALT	16-08-2003	102526	42178	1
ALT	08-09-2003	106606	4079	1
ALT	23-02-2005	202438	95833	1
ALT	27-06-2005	222852	20414	1
ALT	18-10-2005	240880	18028	1

4.4. Aplicação do Teste de *Laplace* a cada veículo

Com os dados organizados de forma cronológica, ou seja, com os componentes todos juntos, mas organizados de forma a que as avarias mais antigas fiquem primeiro, e com os dados censurados eliminados, aplicou-se o Teste de *Laplace*, como forma de conhecer a taxa de falhas de cada veículo. As hipóteses de teste serão:

- H_0 : Taxa de falhas constante
- H_1 : Taxa de falhas não constante

O procedimento seguido para a realização do teste foi o seguinte:

- **Passo 1** – Foi registado o número de falhas total de cada veículo, não incluindo os dados censurados.
- **Passo 2** – Na coluna referente ao somatório dos quilómetros, foi realizado o cálculo do somatório dos quilómetros que o veículo tinha no momento da falha.
- **Passo 3** – Foram registados os quilómetros totais do ensaio, ou seja, os quilómetros que o veículo tinha aquando do fim do estudo.
- **Passo 4** – O cálculo de Z_0 foi retribuído utilizando a equação 2.21.

Os resultados obtidos apresentam-se na Tabela 4. 5:

Tabela 4. 5 - Resultados do teste de Laplace para cada veículo

Cálculo de Z_0				
Nº do veículo	Número de falhas	$\sum r_i$ (Km)	Quilómetros totais do ensaio	Z_0
58	97	12682998	189037	6,540
59	231	52268112	359265	6,834
60	209	56334080	391161	9,469
61	153	29278213	314449	4,652
62	212	45307475	339272	6,553
63	145	20133004	237273	3,553
64	201	37365534	323471	3,669
65	166	30275881	300097	4,809
66	65	7298533	169933	4,490
67	140	24549914	337340	0,812
68	181	35568688	338830	3,727
69	151	27058159	295760	4,507
70	31	2607649	145075	1,540
71	20	1734494	127422	2,798

Como explicado no ponto 2.11.4., os valores de Z_0 superiores a $Z_{\frac{\alpha}{2}}$ (que tem o valor 1,64 para um nível de significância de 10%) representam uma taxa de falhas crescente, o que implica uma fiabilidade decrescente. Este facto aconteceu em todos os veículos, excepto nos autocarros número 67 e 70, onde a taxa de falhas foi constante.

Para cada veículo foi ainda realizado um esquema onde se representam as avarias relacionadas com os quilómetros. Um exemplo desse esquema é apresentado na Figura 4.2.

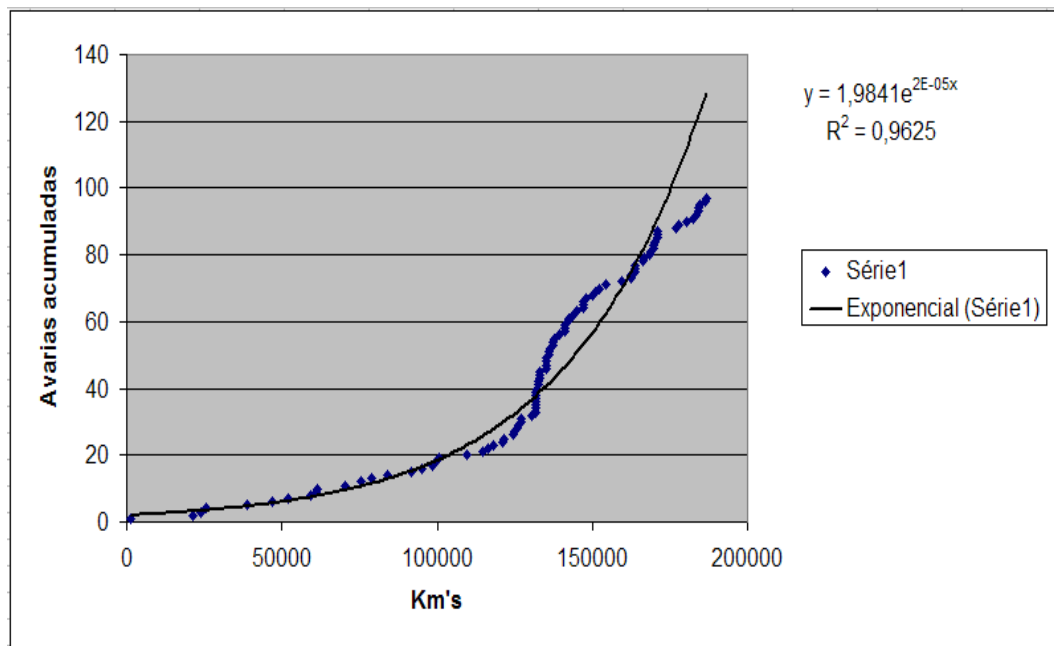


Figura 4. 2 - Exemplo de histórico de avarias

O Anexo II mostra os gráficos representativos do número de avarias acumulado, em relação aos quilómetros percorridos para cada veículo. Os resultados demonstram o que o Teste de *Laplace* concluiu, ou seja, à medida que os quilómetros aumentam, o tempo entre avarias é cada vez menor, o que resulta numa fiabilidade decrescente.

Terá de ser pesquisado qual o grupo de componentes que está a fazer com que exista esta diminuição da fiabilidade.

4.5. Aplicação do Modelo de Riscos Proporcionais

De forma a pesquisar qual o grupo de componentes que provoca o crescimento da taxa de falhas, foi aplicado o Modelo de Riscos Proporcionais (*PHM – Proportional Hazard Modeling*) a toda a frota em simultâneo. Este modelo irá permitir a avaliação quantitativa dos grupos de componentes com maior risco de falha.

Para aplicar o modelo recorreu-se ao *software SPSS*, nomeadamente ao módulo *Survival*, de forma a simplificar a sua aplicação e análise.

- **Passo 1** – Os dados são organizados, ainda no *Excel*, com as datas no momento da avaria, e com o tempo de vida dos componentes, sendo este tempo o número de quilómetros que o veículo tem no momento da falha. Na coluna seguinte coloca-se a duração entre falhas (também em quilómetros) e com uma linguagem binária, em que na coluna correspondente a cada componente se encontra o valor 1 ou 0 (caso corresponda ao componente em questão ou não). Há ainda uma coluna referente aos dados censurados, tal como indicado no ponto 4.3.. Um exemplo da organização dos dados é mostrado na Tabela 4. 6:

Tabela 4. 6 - Exemplo de organização da tabela para o programa SPSS

Componente	Data	Km totais	Tempo entre falhas	Censurado	ALT	BAT	COMP	CXV
ALT	26-09-2002	61342	61342	1	1	0	0	0
ALT	21-02-2003	84017	22676	1	1	0	0	0
ALT	12-05-2003	98603	14586	1	1	0	0	0
ALT	20-10-2003	127053	28450	1	1	0	0	0
ALT	28-05-2007	135285	8232	1	1	0	0	0

A Tabela 4. 6 serve apenas para observação, a título de exemplo, da organização dos dados necessária para a utilização do *SPSS*.

- **Passo 2** – Os dados referentes aos componentes, data, tempos de vida, tempo entre falhas, censurado e o binário referente a cada grupo de componentes foram copiados para o *SPSS*, onde se alterou também o nome das variáveis, para o mesmo nome que se utilizou no *Excel* (Tvida, Censurado, ALT, etc.), tal como consta na Figura 4. 3:

componen	data	tvida	time	cens	alt	bat
ALT	37525	61342	61342	1	1	0
ALT	37673	84017	22676	1	1	0
ALT	37753	98603	14586	1	1	0
ALT	37914	127053	28450	1	1	0
ALT	39230	135285	8232	1	1	0
ALT	39386	147079	11794	1	1	0
ALT	39491	162607	15528	1	1	0
ALT	39499	163948	1340	1	1	0
ALT	39813	189037	25089	0	1	0
BAT	37262	25415	25415	1	0	1

Figura 4. 3 - Exemplo de colocação dos dados no SPSS

- **Passo 3** – Foi escolhido, no menu *Analyze*, o módulo *Survival*, tendo sido escolhido o modelo *Cox Regression*. Dentro deste, as opções seleccionadas foram as seguintes:

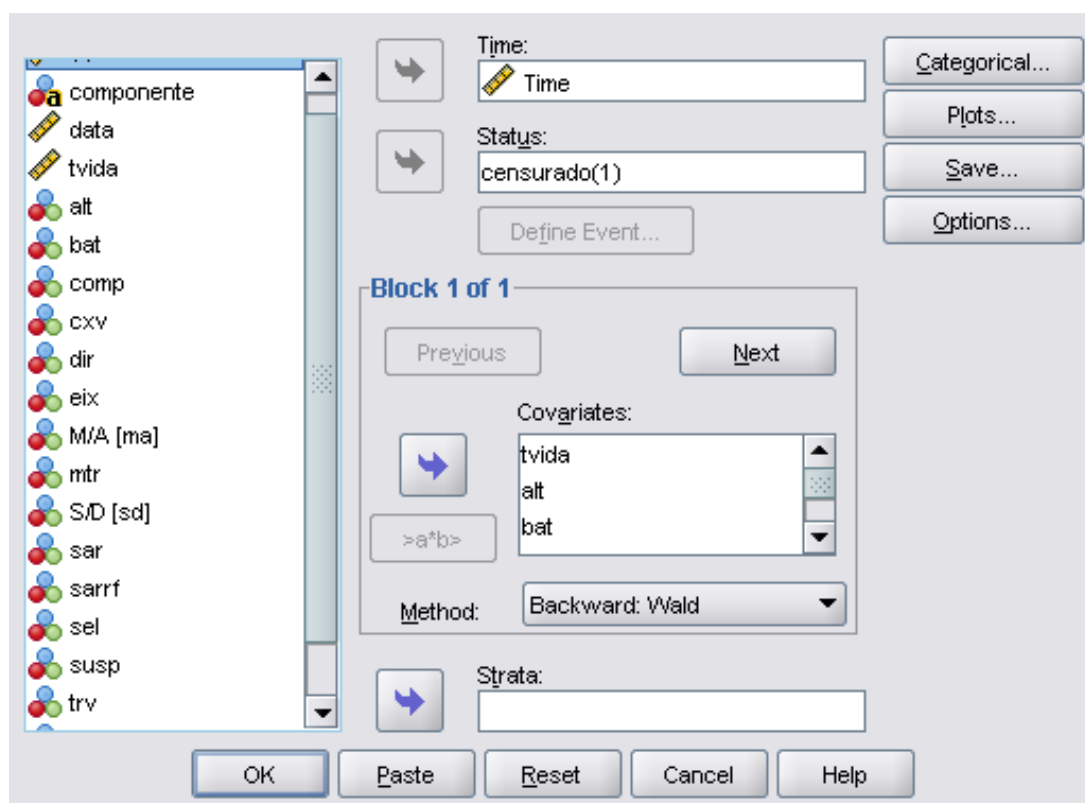


Figura 4. 4 - Exemplo de escolha das opções do modelo Cox Regression

O processo irá decorrer sob a forma de iterações, o que se deve à escolha da opção *Backward: Wald* (como se pode observar na opção “Method” da Figura 4. 4), o qual inicialmente considera todas as covariáveis no modelo e testa cada uma destas, até que restem aquelas que estejam de acordo com o critério estabelecido. Neste caso serão aquelas que apresentam menores valores na significância.

Escolheu-se a variável direcção (DIR) como variável de base, pois é a variável que menos contribui para a taxa de avarias, ou seja, todas as outras contribuem mais para o aumento da taxa de falhas do que a variável DIR.

Foi também inserido, neste módulo, a opção da retribuição da função de sobrevivência e de risco, de forma a ser ainda mais fácil a análise dos dados.

Ao mesmo tempo foi também inserida uma opção que retribuí a função de risco de base.

- **Passo 4** – Após a escolha destas opções, foram imediatamente fornecidos os resultados pelo programa. Apenas serão tidos em consideração os resultados obtidos na última iteração, ou seja, após eliminação das variáveis com valor de significância superior a 0,05.

4.5.1. Resultados do Modelo de Riscos Proporcionais

O programa começa por realizar um sumário do caso, fornecendo resultados quanto ao número total de avarias consideradas, número de dados censurados, número de casos não considerados e totais. Os resultados fornecidos resumem-se na Figura 4. 5:

Case Processing Summary		N	Percent
Cases available in analysis	Event ^a	2011	91,1%
	Censored	192	8,7%
	Total	2203	99,8%
Cases dropped	Cases with missing values	0	,0%
	Cases with negative time	0	,0%
	Censored cases before the earliest event in a stratum	4	,2%
	Total	4	,2%
Total		2207	100,0%

a. Dependent Variable: Time

Figura 4. 5 - Resultados iniciais fornecidos pelo SPSS

A variável dependente, neste caso, é o tempo de vida, ou seja, o período de tempo entre avarias.

A tabela diz que existem 2207 casos para análise, sendo que 2011 são acontecimentos (neste caso avarias), 192 são dados censurados (a avaria não chegou a acontecer) e 4 são censurados, mas o seu tempo é menor que o tempo da avaria mais rápida.

É aplicada uma função logarítmica ao valor de máxima verosimilhança do conjunto dos subsistemas, e cujo valor é apresentado na Figura 4. 6. Este valor dá-nos o desvio dos dados relativamente ao modelo, ou seja, quanto mais próximo de zero, melhor ajustado estará o modelo.

Block 0: Beginning

Omnibus Tests of Model Coefficients

-2 Log Likelihood
27193,816

Figura 4. 6 - Resultado de $-2\text{LnL}(\beta)$

Passo a passo o programa vai excluindo as variáveis com maior significância, e o valor de $-2\text{LnL}(\beta)$ vai diminuindo. Os valores da diminuição são apresentados na Tabela 4. 7:

Tabela 4. 7 - Valores de $-2\text{LnL}(\beta)$ com e sem covariáveis

Teste para $-2\text{LnL}(\beta)$	
Sem covariáveis	27193,816
Com covariáveis	26546,918

No primeiro passo as covariáveis a entrar são todos os grupos de componentes a considerar: Tempo de vida, Alternador, Baterias, Compressor, Caixa de velocidades, Eixos, Motor de arranque, Motor, Sistema *Diesel*, Sistema de ar, Sistema de arrefecimento, Sistema eléctrico, Suspensões, Travões.

A partir da segunda iteração, as variáveis cujos valores da significância sejam superiores a 0,05, serão retiradas do modelo.

O modelo revelou que todas as covariáveis apresentam valores de significância inferiores a 0,05, pelo que todas permanecem no modelo após a primeira iteração.

Como foi dito anteriormente, os valores a serem tidos em consideração serão os apresentados na última iteração. Esses valores são apresentados na Tabela 4. 8:

Tabela 4. 8 – Resultados da última iteração

Variáveis na equação						
Variável	Estimativa do parâmetro	Desvio padrão	Wald	Graus de liberdade	Valor de prova	Relação de risco
tvida	1,042E-06	2,413E-07	18,645	1	1,575E-05	1,000E+00
alt	2,595	0,344	56,883	1	4,626E-14	1,339E+01
bat	2,802	0,347	65,074	1	7,214E-16	1,647E+01
comp	1,597	0,364	19,243	1	1,151E-05	4,940E+00
cxv	1,867	0,359	27,105	1	1,927E-07	6,472E+00
eix	1,628	0,365	19,901	1	8,156E-06	5,091E+00
ma	1,427	0,370	14,861	1	1,157E-04	4,168E+00
mtr	2,417	0,351	47,505	1	5,488E-12	1,121E+01
sd	2,247	0,353	40,563	1	1,904E-10	9,459E+00
sar	2,295	0,352	42,536	1	6,938E-11	9,925E+00
sarrf	3,214	0,345	86,944	1	1,116E-20	2,488E+01
sel	3,213	0,345	86,729	1	1,244E-20	2,486E+01
susp	1,515	0,368	16,942	1	3,855E-05	4,551E+00
trv	3,180	0,345	84,805	1	3,293E-20	2,404E+01

As variáveis que sobraram, embora significativas, têm valores de estimativa do parâmetro muito mais baixo do que as variáveis SARRF, SEL e TRV (sistema de arrefecimento, sistema eléctrico e travões). As variáveis que têm este valor mais alto (SARRF, SEL e TRV) são as que contribuem mais positivamente para o aumento da taxa de falhas, pelo que serão aquelas em que terá de haver um maior cuidado na manutenção, já que podem ser consideradas variáveis de risco.

A contribuição destas variáveis para a função de risco é de $e^{3,214} = 24,88$, $e^{3,213} = 24,85$ e $e^{3,180} = 24,05$, respectivamente para o SARRF, SEL e TRV. Estes valores significam que o sistema de arrefecimento, o sistema eléctrico e os travões aumentam em 24,9, 24,8 e 24,0 vezes a função de risco dos veículos, respectivamente.

Deste modo, as medidas preventivas terão de assentar, essencialmente, nestes três grupos.

4.5.3. Validação do modelo

Após a aplicação do modelo, terá de ser feita a sua validação, a fim de confirmar a validade dos resultados obtidos.

O modelo utilizado para a validação dos dados foi o modelo dos resíduos de Cox Snell.

A validação é feita através da utilização do módulo *Survival* do *SPSS*, utilizando o modelo *Kaplan-Meier*.

Os passos para a formulação deste módulo foram os seguintes:

- **Passo 1** – Com os valores fornecidos no Passo 4 do ponto 4.6., foi escolhido novamente, no menu *Analyze*, o módulo *Survival*, tendo sido escolhido o modelo *Kaplan-Meier*. Foi também inserida a opção da retribuição da função de sobrevivência, de forma a que o seu erro seja comparado com o erro da função de sobrevivência retribuído pelo modelo anterior.
- **Passo 2** – Com os valores de sobrevivência fornecidos pelos dois modelos, esses valores foram copiados para o *Excel*, onde foi calculado o seu erro. Este erro foi calculado pela equação 2.32. Na Tabela 4. 9 encontra-se um excerto do que foi aqui enunciado.

Tabela 4. 9 - Exemplo de resultados do cálculo dos resíduos

Cens	R(t;z)	Res observados	R(ei)	Res esperado
1	0,7285	0,3168	0,7335	0,3099
1	0,7280	0,3174	0,7331	0,3105
1	0,7263	0,3198	0,7326	0,3111
1	0,7263	0,3198	0,7322	0,3118
1	0,7255	0,3209	0,7317	0,3124
1	0,7242	0,3227	0,7312	0,3130
1	0,7238	0,3233	0,7308	0,3137
1	0,7229	0,3244	0,7303	0,3143

- **Passo 3** – Estes valores de erro foram inseridos num gráfico, em que o erro observado se encontra em função do erro esperado. Estes valores devem-se ajustar a uma recta de declive 1.



Figura 4. 7 - Gráfico dos resíduos de Cox-Snell

Como se pode observar pela Figura 4. 7, o modelo apresenta-se ajustado, o que significa que se pode considerar o modelo válido.

4.5.4. Comparação de funções de fiabilidade

De forma a se compreenderem melhor os resultados obtidos nos pontos anteriores, realizaram-se gráficos comparativos entre a função de fiabilidade de base e a função de fiabilidade dos componentes com maior contribuição para a taxa de falhas.

Para tal foi utilizada a seguinte metodologia:

- **Passo 1** – Retiraram-se directamente do *SPSS* os valores da função de sobrevivência de base (do conjuntos dos veículos), ordenando-os por ordem decrescente.
- **Passo 2** – Obtiveram-se os valores de sobrevivência dos veículos, tendo em conta a estimativa do parâmetro fornecida pelo *SPSS* que se encontra na Tabela 4. 8, e utilizando a equação 2.27, ou seja, a fiabilidade do veículo tendo em conta o risco dos componentes.
- **Passo 3** – Compararam-se esses valores utilizando para o efeito um gráfico em que no eixo das abcissas se encontram os quilómetros do veículo, e no eixo das ordenadas a sobrevivência.

O gráfico resultante foi o seguinte:

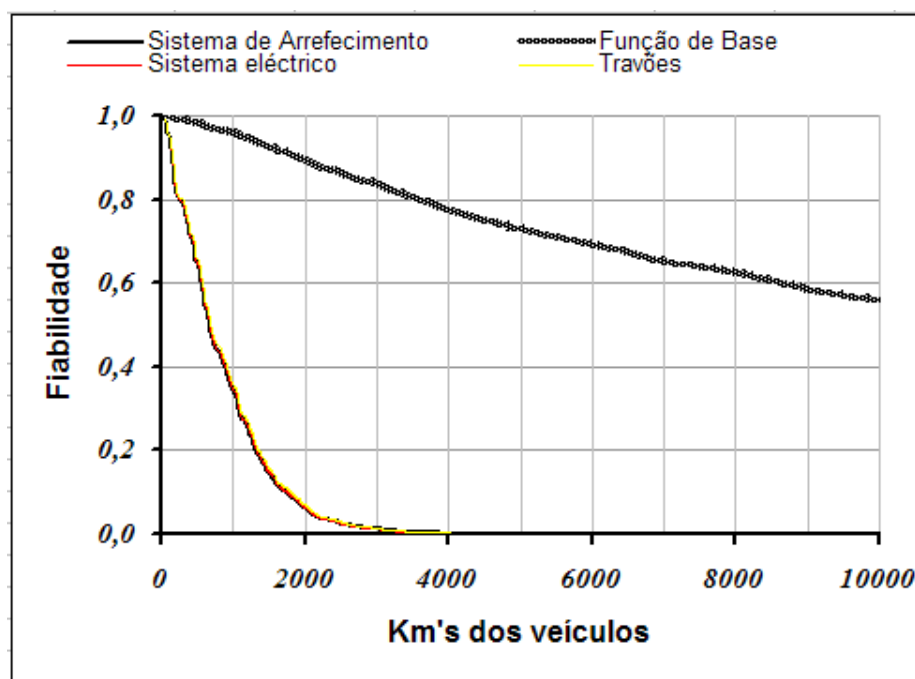


Figura 4. 8 - Gráfico resultante da função de fiabilidade dos sistemas em risco

Como se pode observar na Figura 4. 8, os grupos de componentes em risco aumentam em grande quantidade o risco de avaria, sendo que esses componentes têm uma contribuição bastante aproximada, tal como se tinha concluído no ponto anterior.

A fiabilidade dos veículos vai reduzindo ao longo do tempo, tendo sido realizado um gráfico comparativo entre a fiabilidade dos veículos novos (fiabilidade de base), com 100000 quilómetros e com 300000 quilómetros.

Para a realização desse gráfico foram seguidos os seguintes passos:

Passo 1 – Calcular a fiabilidade dos veículos para 100000 e 300000 quilómetros. Para tal foi utilizada a equação 2.27, sendo que a covariável TVIDA foi multiplicada pelo número de quilómetros respectivos.

Passo 2 – Foi realizado o gráfico comparativo, sendo que no eixo das abcissas se terá o número de quilómetros desde a última falha, e no eixo das ordenadas se terá a fiabilidade, ou seja, a probabilidade de não falhar.

O gráfico fornecido foi o seguinte:

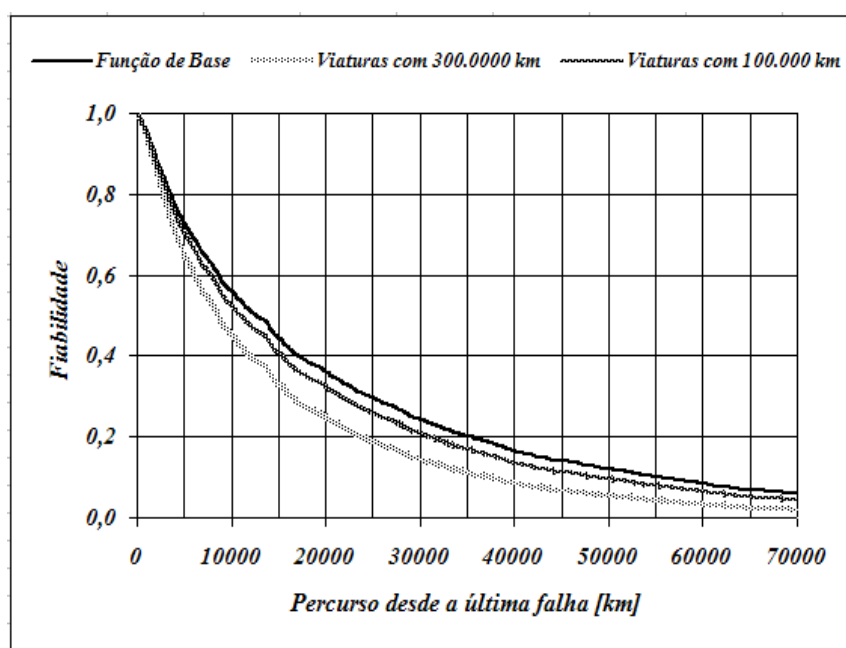


Figura 4. 9 - Gráfico comparativo das funções de fiabilidade para várias idades

Pela Figura 4. 9 pode-se concluir que as viaturas com 300000 quilómetros têm maior probabilidade de avariar do que as de 100000, e que estas últimas têm maior probabilidade de avariar do que as novas. Assim verifica-se que a fiabilidade dos veículos diminui e isso deve-se à grande contribuição que os grupos de componentes mais significativos (sistema de arrefecimento, sistema de ar e travões) têm para com a função de fiabilidade.

4.6. Proposta de plano de manutenção

Sabendo-se os sub-sistemas que mais aumentam o risco de avarias, cabe agora apresentar medidas que travem o aumento da taxa de avarias desses sub-sistemas.

Com um plano de manutenção preventiva, poder-se-á reduzir em grande parte o número de avarias nestes grupos de componentes, levando assim a que a empresa ganhe no serviço prestado e poupe em gastos relacionados com a manutenção.

A empresa deverá observar e registar frequentemente o estado em que se encontram os diversos componentes destes grupos, de forma a prevenir eventuais avarias, que poderão ser vitais para o bom funcionamento dos veículos.

As medidas apresentadas dirão apenas respeito ao sistema de arrefecimento, pois é o que contribui em maior grau para o aumento da taxa de falhas dos veículos.

Este sistema é constituído pelas seguintes peças:

- Bomba de água
- Radiador
- Radiador do óleo

- Radiador auxiliar
- *Intercooler*
- Tubagens
- Filtros

Uma correcta manutenção destes elementos poderá prolongar bastante a vida útil dos mesmos, assim como a utilização de material original ou recomendado pelo fabricante. Desta forma a taxa de avarias do sistema de arrefecimento poderá melhorar a fiabilidade do veículo, ao invés de a piorar, como acontece.

As medidas preventivas recomendadas pelo fabricante, para o sistema de refrigeração, serão as seguintes:

Tabela 4. 10 - Manutenções sugeridas pelo fabricante (Mercedes Benz Service, 1999)

Manutenção	Período óptimo
Radiador	Manutenção anual
Radiador auxiliar	Manutenção anual
Radiador do óleo	Manutenção anual
Intercooler	Manutenção anual
Filtros	Limpeza a cada 6 meses
Líquido refrigerante	Mudança a cada 3 anos
Tubagens	Substituição a cada 6 anos

Estes simples procedimentos de manutenção poderão resolver grande parte das avarias registadas pela empresa no referido sub-sistema.

Uma observação atenta à fiabilidade do referido sistema revelará que as avarias ocorrem com maior frequência do que a revelada pelas manutenções ideais propostas pelo fabricante.

Após um estudo mais aprofundado às manutenções dadas pela empresa, concluiu-se que, para atesto do líquido refrigerante a empresa utiliza água, ao invés de água destilada.

Este facto leva ao entupimento do radiador, bem como à deposição de calcário nas tubagens, que leva à ruptura das mesmas.

A utilização imediata de água destilada nos atestos de líquido refrigerante, diminuirá em grande parte o número de intervenções neste sub-sistema, aumentando a fiabilidade dos veículos.

Por outro lado, aquando das substituições de peças nos prazos recomendados pelo fabricante, estas deverão ser originais ou recomendadas, além de serem montadas por um funcionário com boa formação. Este tipo de peças, além de serem específicas para o veículo em questão, são sujeitas a um rigoroso controlo de qualidade, o que permite terem valores mais altos de durabilidade do que as peças não recomendadas. Além disso os prazos de substituições recomendados pelo fabricante foram calculados com base na utilização destas peças.

CAPÍTULO 5 – Conclusões

5.1. Recomendações

Nesta parte do trabalho cabe fazer algumas recomendações a fim de melhorar o serviço de gestão da manutenção dos SMTCB.

- Maior cuidado aquando do registo das avarias, pois foram detectadas algumas incoerências no registo das mesmas, o que dificultou a obtenção de um histórico mais fiável.
- Diferenciação entre verificações e substituições aquando do registo dos sub-sistemas, pois actualmente, no fim de cada ano, quando as avarias são contabilizadas, as verificações contam como tal.
- No registo de avarias retirar “desempanagem” como área principal, pois nas áreas principais apenas deveriam constar as áreas do autocarro em estudo, e uma desempanagem é uma consequência de uma avaria numa dessas áreas.
- Fazer o registo dos quilómetros aquando do registo da data da avaria, a fim de ser mais fácil saber o tempo de vida dos vários componentes.
- Criação de uma base de dados electrónica, a fim de ser possível calcular os tempos entre falhas. Deste modo consegue-se ter uma ideia exacta da evolução da taxa de avarias de cada veículo, e assim relacioná-la com outras causas externas ou internas.
- Realizar controlo da condição das peças nos sistemas com maiores taxas de avarias (sistema de arrefecimento, sistema eléctrico e travões).

- Cumprir os prazos de manutenção recomendados pelo fabricante.
- Utilizar peças recomendadas pelo fabricante, a fim de obter a máxima fiabilidade, bem como cumprir os prazos de manutenção recomendados.
- Nos atestos de água do sistema de refrigeração, utilizar água destilada, a fim de evitar depósitos de detritos nas tubagens de água e no radiador.

5.2. Conclusão

A realização deste trabalho foi o mote para uma investigação acerca das melhores práticas de manutenção, assim como das melhores formas de se estudar a fiabilidade de sistemas reparáveis.

Os sistemas em estudo foram veículos de transporte urbano de passageiros, que são máquinas com um valor material bastante avultado, e que têm uma importante tarefa social na sua área de acção, pois prestam um serviço à população por um preço acessível.

Estes veículo necessitam de estar nas melhores condições, pois realizam diariamente o transporte de milhares de pessoas, em trajectos urbanos, colocando, em caso de acidente, não só a vida dos que neles circulam, mas também a vida das pessoas nos locais por onde passam.

Neste trabalho começou-se por realizar um histórico de avarias electrónico, já que os dados referentes a essas avarias se encontravam manuscritos, tendo, inclusivamente, sido detectados algumas falhas nesses mesmos registos.

Os dados foram organizados e agrupados em áreas principais de estudo, tendo sido utilizadas as áreas que têm como consequência a desempanagem dos veículos da empresa.

A taxa de falhas de cada veículo foi estudada individualmente, com o intuito de se verificar o comportamento da mesma, tendo-se concluído que a referida taxa apresentava valores bastante elevados na esmagadora maioria das máquinas. Isto representa um indicador bastante preocupante, pois significa que no decurso do tempo, os tempos entre avarias se tornam cada vez menores, ou seja, a fiabilidade está a decrescer. Este facto pode-se dever a más práticas de manutenção ou a má escolha dos materiais – materiais de menor qualidade terão menor durabilidade.

Foi estudado o comportamento de cada sub-sistema relativamente à função de risco dos veículos. Para o efeito utilizou-se o Modelo de Riscos Proporcionais, que concluiu que os sub-sistemas que mais contribuem para a função de risco são o sistema de arrefecimento, o sistema eléctrico e os travões.

Para a validação do modelo utilizou-se os Resíduos de Cox Snell, e concluiu-se que o modelo se apresentava ajustado, pois o gráfico resultante entre a comparação dos resíduos esperados e dos resíduos observados ajustou-se a uma recta de declive 1.

Focalizou-se então o estudo de manutenção no sistema de arrefecimento, pois é o sub-sistema que mais contribui para a função de risco dos veículos, aumentando-a em 24,9 vezes, com a agravante de muitas peças vitais do motor estarem dependentes do correcto funcionamento do sistema de arrefecimento.

As recomendações do fabricante são sempre uma ajuda preciosa na proposta de acções de manutenção de um sistema, na medida em que o fabricante defende sempre a máxima fiabilidade das suas máquinas. Essas recomendações passam por substituições preventivas de alguns componentes, de forma a evitar a avaria, assim como da utilização de materiais recomendados.

Um dos pontos negativos observados na manutenção das viaturas foi a utilização de água não destilada nos atestos de líquido de refrigeração, o que levou à conclusão de que este facto prejudica em grande quantidade o correcto funcionamento do sistema de refrigeração, na medida em que não é uma água pura, mas sim uma água contendo outros

elementos, como flúor e cloro, que além de corroer os órgãos do sistema, depositam detritos nas tubagens, levando ao envelhecimento precoce dos componentes.

Ficou assim concluído o estudo à fiabilidade dos veículos Mercedes Citaro O530 utilizados pelos SMTCB.

O estudo realizado poderia ter relacionado muitas outras variáveis, o que demonstra que o estudo da fiabilidade não deverá cingir-se à pesquisa por melhores práticas de manutenção, mas também ao relacionamento de diversas variáveis que poderão ser controláveis pelas empresas. Como exemplo dessas variáveis possíveis de entrar em estudos futuros ter-se-ia:

- O relacionamento do número de avarias com os percursos efectuados
- O estudo da fiabilidade entre modelos e marcas diferentes de veículos
- O relacionamento do número de avarias com os condutores das viaturas
- O relacionamento do número de avarias com o profissional de mecânica

Como se pode observar, o estudo da fiabilidade poderá oferecer muitas opções de estudo, relacionando a fiabilidade com diversas variáveis, a fim de obter sempre o máximo rendimento das máquinas e de conseguir as melhores práticas de serviço com o material em estudo.

Anexo I – Rotas dos veículos

O serviço prestado assenta em várias linhas, que abrangem uma boa parte do concelho e que têm como objectivo principal o bem-estar da população.

O comprimento total das linhas ascende aos 147,9 Km, sendo o seu comprimento médio de 10,14 Km.

Na tabela seguinte caracterizam-se as diferentes linhas:

Tabela I. 1 - Caracterização das linhas

Nº da linha	Terminais	Comp (Km)	Nº de paragens	Distância média entre paragens
1	Terminal (circulação)	10,85	26	417
2	Terminal (circulação)	10,80	27	400
3	Stº António - Terminal	8,20	22	390
4 (EXP)	C.Sol - Terminal	6,60	10	733
5	Coina (Qta areia) – Barra à Barra	18,15	44	413
6	Coina (Fertagus) – Barra à Barra	14,90	28	514
7	J.J.Fernandes - Terminal	6,55	18	385
8 (EXP)	J.J.Fernandes – Terminal	4,85	8	693
10	Esc. Mendonça Furtado – Esc. Alfredo da Silva	5,95	16	377
11	J.J.Fernandes - Esc. Alfredo da Silva	5,95	17	372
14	Terminal (circulação)	11,00	30	379
15	Terminal (circulação)	11,25	30	388
16	Vilas da Serra – Terminal	12,65	28	469
17	Stº - António – Esc. Alfredo da Silva	7,95	22	379
18	Cabeço Verde – Esc. Alfredo da Silva	12,25	28	454

Anexo II – Histórico de avarias de cada veículo

Nesta secção irá ser apresentado o gráfico que representa a taxa de avarias do vários veículos. O número de avarias é acumulado, e os quilómetros são os que o autocarro tinha na data da avaria.

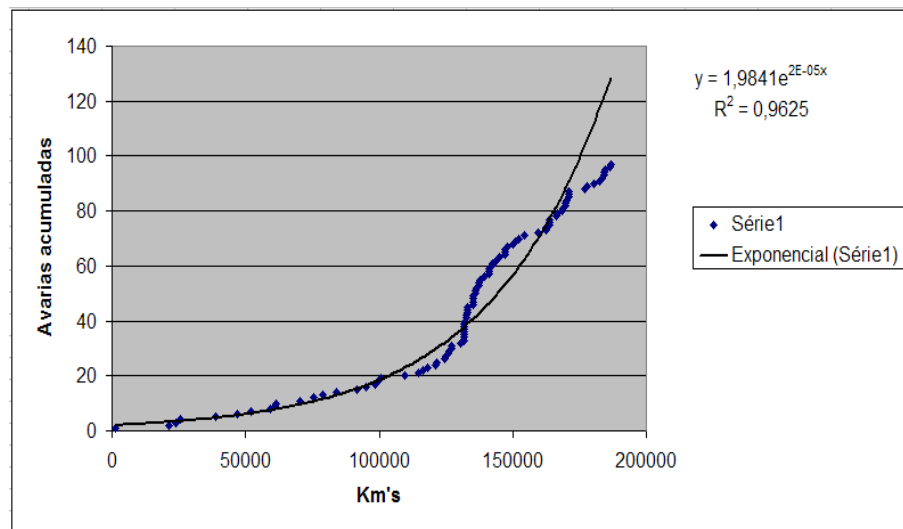


Figura II. 1 - Histórico de avarias do autocarro 58

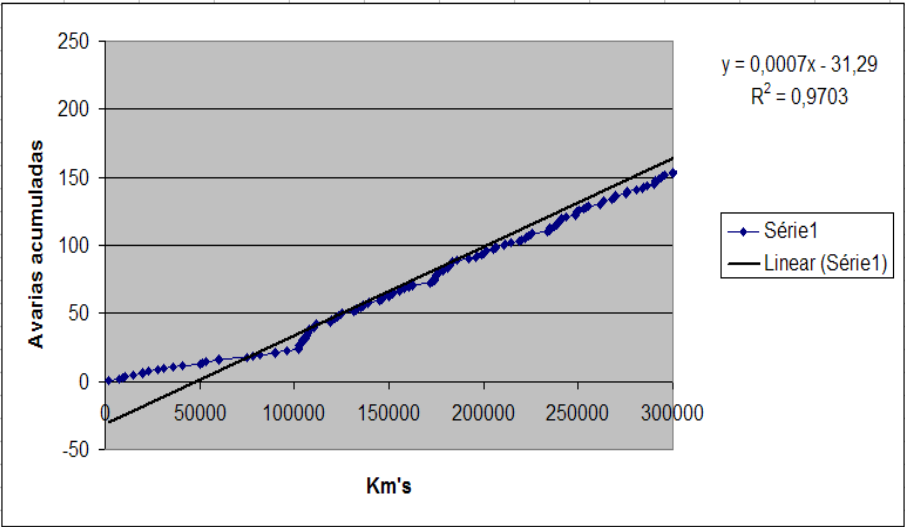


Figura II. 2 - Histórico de avarias do autocarro 59

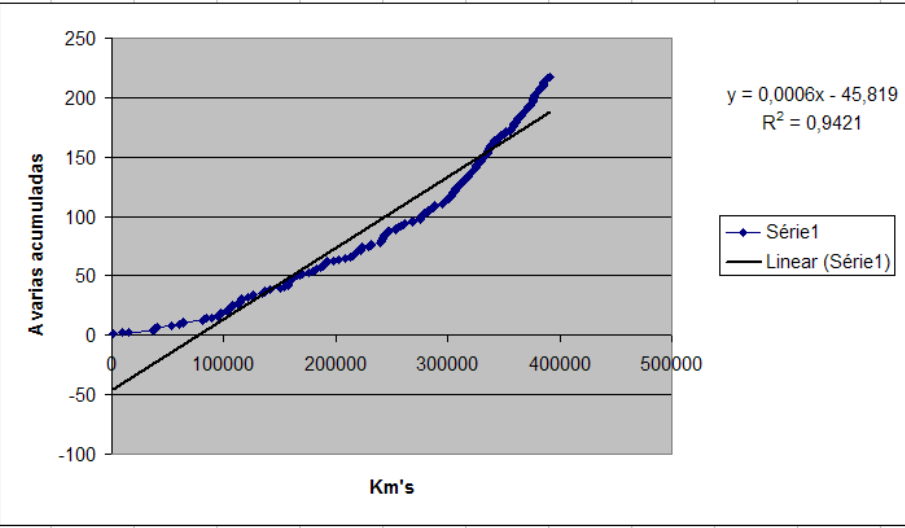


Figura II. 3 - Histórico de avarias do autocarro 60

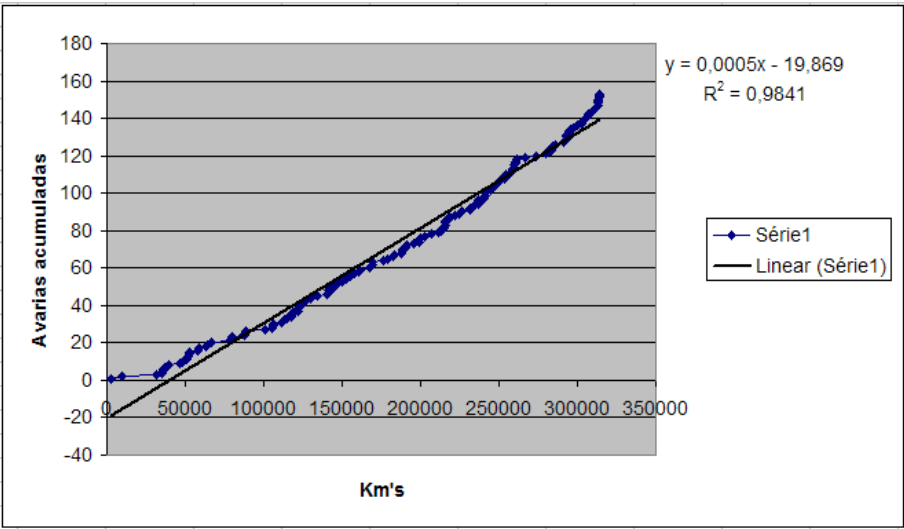


Figura II. 4 - Histórico de avarias do autocarro 61

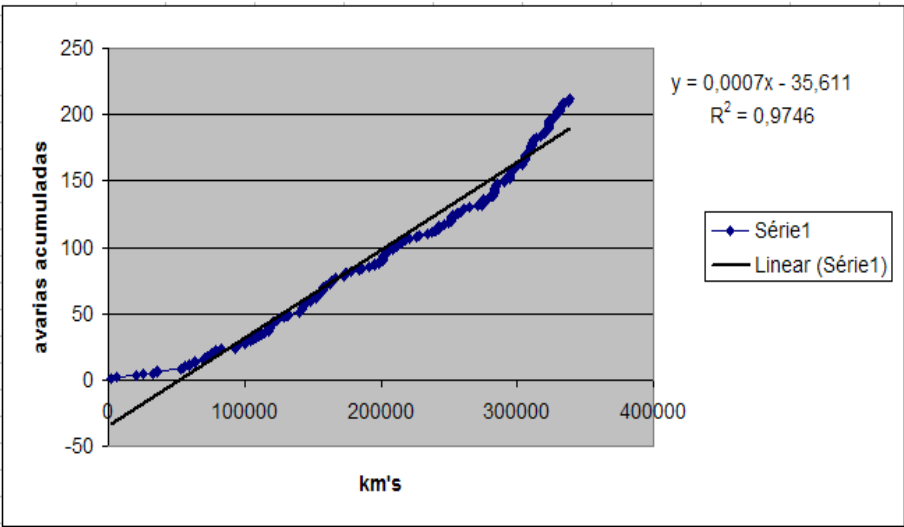


Figura II. 5 - Histórico de avarias do autocarro 62

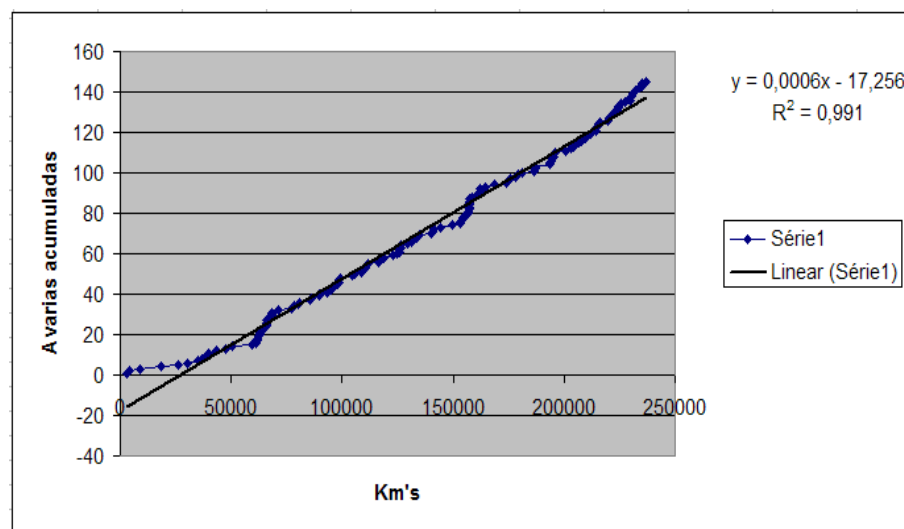


Figura II. 6 - Histórico de avarias do autocarro 63

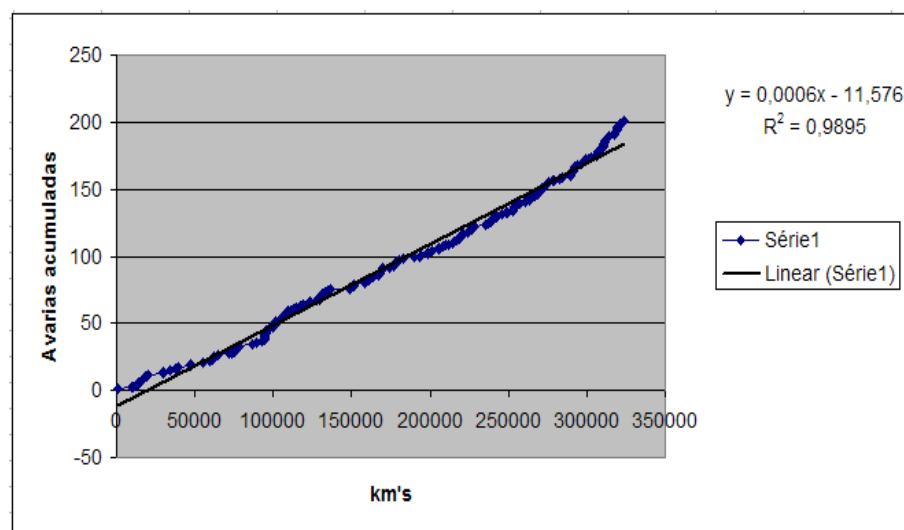


Figura II. 7 - Histórico de avarias do autocarro 64

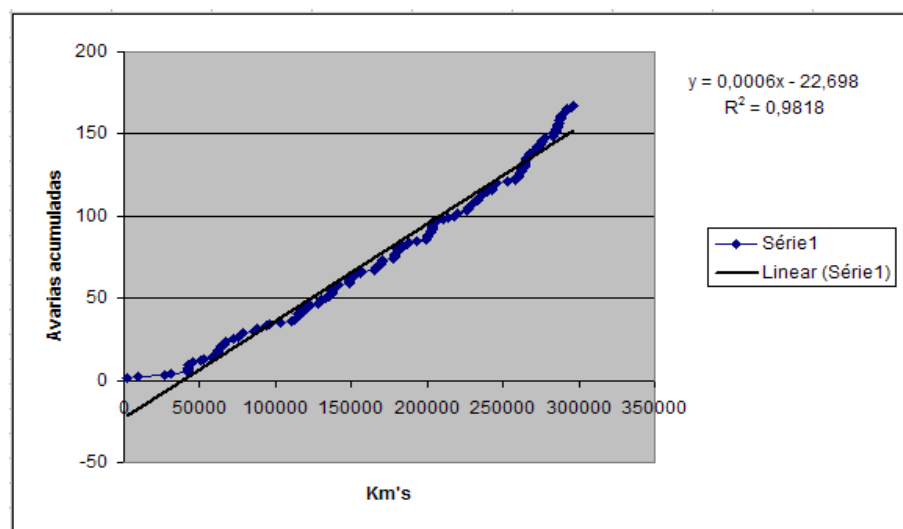


Figura II. 8 - Histórico de avarias do autocarro 65

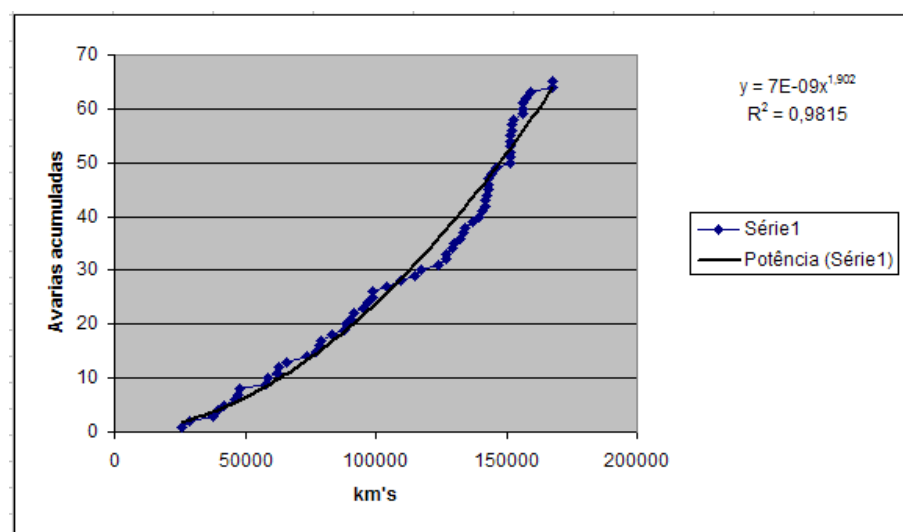


Figura II. 9 - Histórico de avarias do autocarro 66

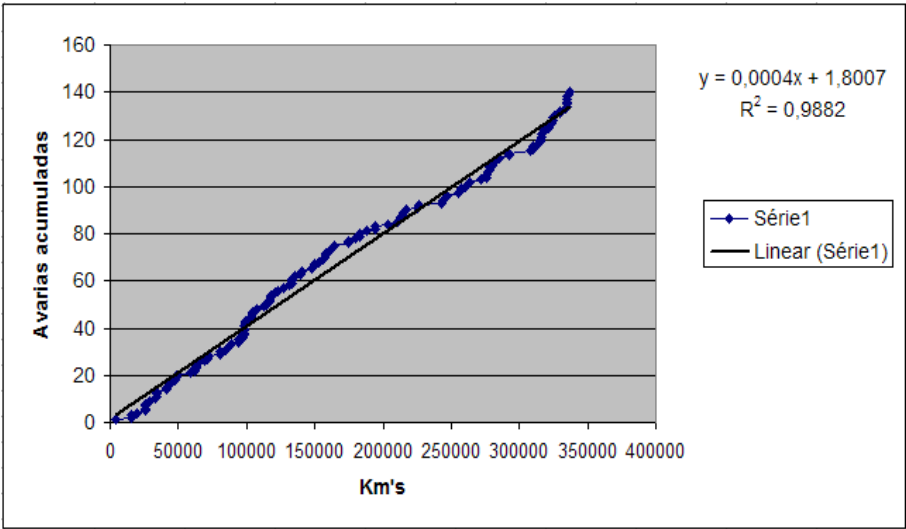


Figura II. 10 - Histórico de avarias do autocarro 67

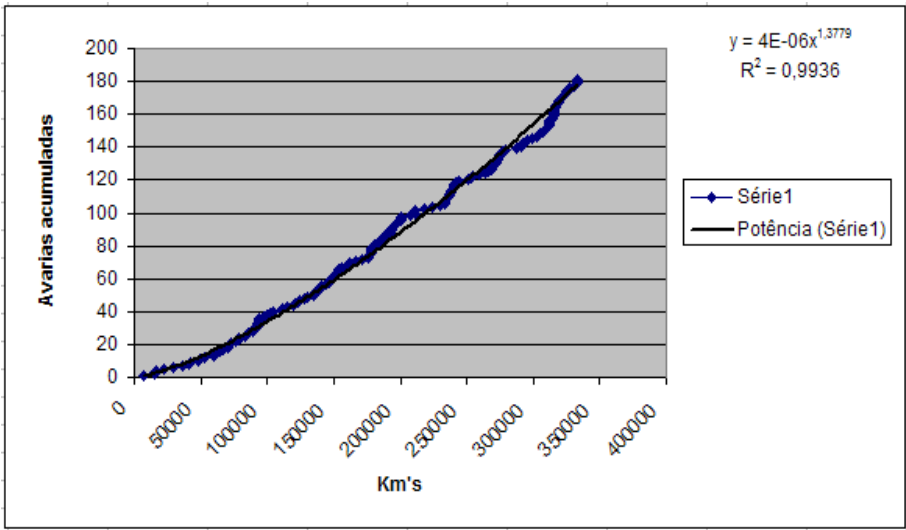


Figura II. 11 - Histórico de avarias do autocarro 68

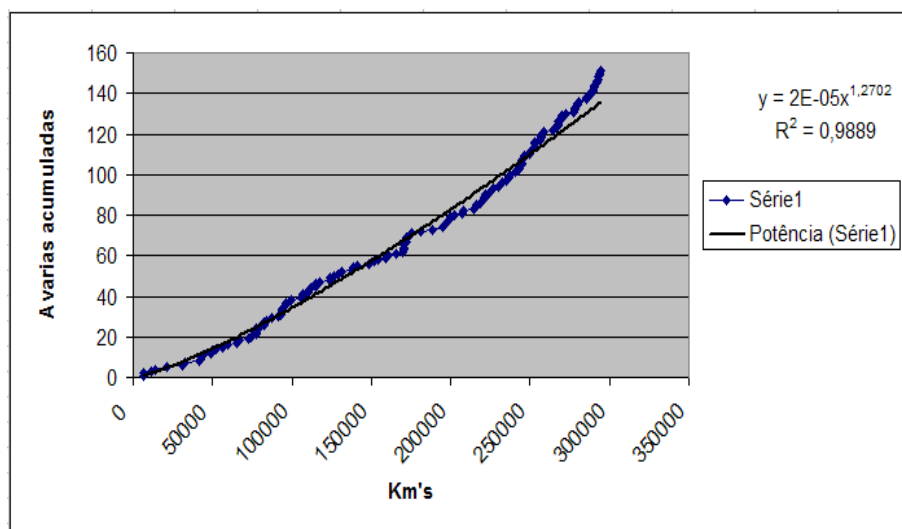


Figura II. 12 - Histórico de avarias do autocarro 69

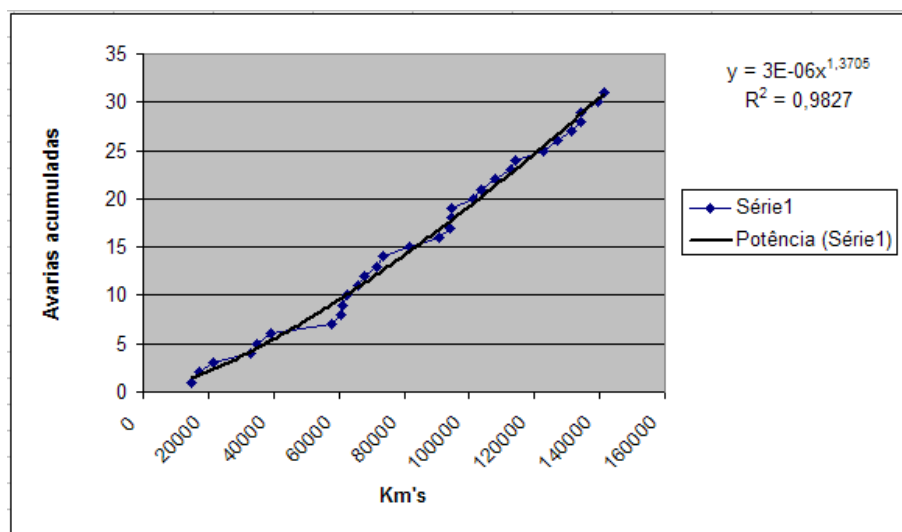


Figura II. 13 - Histórico de avarias do autocarro 70

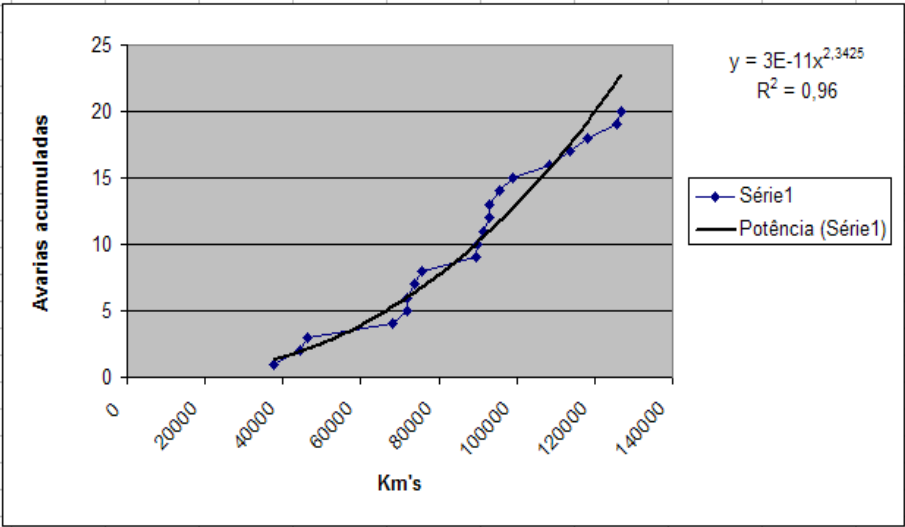


Figura II. 14 - Histórico de avarias do autocarro 71

Totals

Referências bibliográficas

- Allison, P.D. (1995). *Survival analysis using the SAS system: a practical guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc..
- Armstrup, S.C., McDonald, T.L. & Manly, B.F.J. (2005). *Handbook of capture-recapture analysis*. New Jersey: Princeton University Press.
- Barbosa, F.C. (1997). *Uma proposta de metodologia para aplicação em manutenção de ônibus urbanos*. Brasília: Universidade de Brasília – Faculdade de Tecnologia – Departamento de Engenharia Civil.
- Bentley, J.P. (1993). *An introduction to reliability and quality*. Burnt Mill, Harlow: Longman Group UK Ltd
- Brito, M. (2003). *Manual pedagógico Pronaci – Manutenção*. Porto: AEP – Câmara de comércio e Indústria.
- Collett, D. (1994). *Modelling survival data in medical research*. London: Chapman & Hall.
- Cramer, J.S. (1986). *Econometric applications of maximum likelihood methods*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dias, J.A.M. (2002). *Fiabilidade em redes de distribuição de energia eléctrica*. Lisboa: FCT-UNL.
- Dias, J.M., Requeijo, J.G., Leal R.P., Pereira, Z.L. (2007). *Optimização do período de substituição preventiva de componentes em função dos custos*. Lisboa: FCT-UNL.

- Diniz, H.H.L. (2007). *Modelo de otimização do custo de manutenção via algoritmo genético aplicado em uma linha de produção de elastômetro*. Recife: Universidade Federal de Pernambuco.
- Ferrão, F.M.R. & Dias, J.M. (2009). *Gestão da manutenção em viaturas de transporte urbano de passageiros*. Lisboa: FCT-UNL.
- Fox, J. (2002). *An R and S-Plus companion to applied regression*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Gonçalves, C.D.F. (2005). *Gestão da manutenção de um sistema de cozedura na indústria cimenteira*. Lisboa: FCT-UNL.
- Govil, A.K. (1983). *Reliability engineering*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company limited.
- Harris, E.K. & Albert A. (1990). *Survivorship analysis for clinical studies*. Boca Raton: CRC Press.
- Jardine, A.K.S. & Tsang, A.H.C. (2006). *Maintenance, replacement and reliability – Theory and applications*. Boca Raton: CRC Press.
- Júnior, E.L.C. (2008). *Gestão em processos produtivos*. Curitiba, PR: Ibpex Editora.
- Kececioglu, D., (2002). *Maintainability, availability, and operational readiness engineering handbook*, Volume 1. Lancaster, Pennsylvania: DEStech Publications, Inc..
- Lampreia, S. (2005). *Fiabilidade e manutibilidade de sistemas marítimos de pequena e média dimensão*. Lisboa: FCT-UNL.
- Levin, M.A. & Kalal, T.T. (2003). *Improving product reliability – Strategies and implementation*. West Sussex: John Wiley and Sons, Ltd..

- Locks, M.O. (1995). *Reliability, maintainability, and availability assessment*. Milwaukee: ASQC Quality Press.
- Mercedes-Benz Service (1999). *Autocarro – Mercedes O530 – Citaro. Manual de instruções para a manutenção*. Mem Martins: EvoBus GmbH
- O'Connor, P.D.T., Newton D, & Bromley, R (2002). *Practical reliability engineering*, 4th edition. West Sussex: John Wiley and Sons, Ltd..
- Oliveira, J.G.N., Cruz, F.R.B. & Colosimo, E.A. (2007). *Avaliação e correcção de viés no modelo de regressão de Cox*. Belo Horizonte – MG: ICEX - UFMG
- Osaki, S. (1985). *Stochastic system reliability modeling – series in modern applied mathematics*, Volume 5. Singapore: World Scientific Publishing Ltd..
- Pinto, C.V. (1999). *Organização e gestão da manutenção*. Lisboa: Monitor – Projectos e Edições Lda..
- Pinto, V.M. (1994). *Gestão da manutenção*. IAPMEI – Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e ao Investimento.
- S.M.T.C.B. (2006). *Relatório de actividades*. Barreiro: Serviços Municipalizados de Transportes Colectivos do Barreiro.
- Sá Carneiro, J.G. (1965). “Automóvel”, *Enciclopédia luso brasileira de cultura*, Volume 3. Lisboa: Editorial Verbo, Lda.
- Tan, F., Jiang, Z. & Bai, T. (2008), Reliability analysis of repairable systems using stochastic point processes. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*. **Volume 13 – 3**: 366-369.
- Tavares, L.A. (2004), A evolução da manutenção - 20 anos da Abraman - Associação Brasileira de Manutenção. *Revista Nova Manutenção y Qualidade*. **54**: 24-32.

- Thompson, L.A., Chhikara R.S. & Conkin, J. (2003). *Cox proportional hazards model for modeling the time to onset of decompression sickness in hypobaric environments*. Hanover: NASA STI program office.
- Tobias, P.A. & Trindade, D.C. (1995). *Applied reliability*, 2nd edition. Boca Raton: CRC Press.
- Valente, A.M., Passaglia, E. & Novaes, A.G. (1997). *Gerenciamento de Transportes e Frotas*. São Paulo: Pioneira Thompson Learning Ltda..
- Wright, E. (1982). *História universal*, Volume 5. Lisboa: Publicit Editora.

